Sammlung Göschen

Radioaktivität

von

Wilhelm Frommel

Mit 18 Abbildungen

Sammlung Göschen

Unser heutiges Wissen
in kurzen, klaren,
allgemeinverständlichen
Einzeldarstellungen

Jede Nummer in eleg. Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig

Zweck und Ziel der „Sammlung Göschen" ist, in Einzeldarstellungen eine klare, leichtverständliche und übersichtliche Einführung in sämtliche Gebiete der Wissenschaft und Technik zu geben; in engem Rahmen, auf streng wissenschaftlicher Grundlage und unter Berücksichtigung des neuesten Standes der Forschung bearbeitet, soll jedes Bändchen zuverlässige Belehrung bieten. Jedes einzelne Gebiet ist in sich geschlossen dargestellt, aber dennoch stehen alle Bändchen in innerem Zusammenhange miteinander, so daß das Ganze, wenn es vollendet vorliegt, eine einheitliche, systematische Darstellung unseres gesamten Wissens bilden dürfte.

Ein ausführliches Verzeichnis der bisher erschienenen Nummern befindet sich am Schluß dieses Bändchens

G. Fowles. June 1908

Kleine Bibliothek zur Physik

aus der Sammlung Göschen.

Jedes Bändchen eleg. in Leinwand gebunden **80 Pfennig.**

Geschichte der Physik von A. Kistner, Professor an der Großherzoglichen Realschule zu Sinsheim a. E. I: Die Physik bis Newton. Mit 13 Figuren. Nr. 293.

Dasselbe. II: Die Physik von Newton bis zur Gegenwart. Mit 3 Figuren. Nr. 294.

Theoretische Physik. I: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.

Dasselbe. II: Licht und Wärme. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

Dasselbe. III: Elektrizität und Magnetismus. Mit 33 Abbildungen. Nr. 78.

Radioaktivität von Wilh. Frommel. Mit 18 Figuren. Nr. 317.

Physikalische Messungsmethoden von Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Figuren. Nr. 301.

Physikalische Aufgabensammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.

Physikalische Formelsammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

HARVARD MEDICAL
LIBRARY

RÖNTGEN

THE LLOYD E. HAWES
COLLECTION IN THE
HISTORY OF RADIOLOGY

Harvard Medical Library
in the Francis A. Countway
Library of Medicine ~ *Boston*

VERITATEM PER MEDICINAM QUÆRAMUS

Sammlung Göschen

Radioaktivität

von

Wilhelm Frommel
Chemiker

Mit 18 Abbildungen

Leipzig
G. J. Göschen'sche Verlagshandlung
1907

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,
von der Verlagshandlung vorbehalten.

Literatur.

Curie, Mme. S., Untersuchung über die radioaktiven Substanzen. — Übersetzt von W. Kaufmann. Die Wissenschaft. Erstes Heft. Braunschweig 1904.

Rutherford, E., Radioactivity. Cambridge 1903.

Soddy Frederick, Die Radioaktivität vom Standpunkt der Desaggregationstheorie. — Übersetzt von G. Siebert. Leipzig 1903.

Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik. Göttingen.

Original-Aufsätze und Referate in:

Le Radium, La Radioactivité et les Radations. Paris seit 1904.

Physikalische Zeitschrift, Göttingen-Leipzig.

Annalen der Physik, Berlin.

Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Berlin.

Chemisches Zentralblatt, Berlin.

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig-R.

Inhalt.

I. Abschnitt.

Seite

I. Strahlungserscheinungen 5

Historische Übersicht 5

Strahlende Materie 5

Die Kathodenstrahlen 6

Das Wesen der Strahlung 7

Die Röntgenstrahlen 8

Eigenschaften der Röntgenstrahlen 9

Das Elektroskop 11

Die Becquerelstrahlen 12

II. Die radioaktiven Stoffe 14

Die Messung der Aktivität 15

Vergleichswerte der Radioaktivität 17

Das radioaktive Atom 18

Die Radioanalyse 19

Die Analyse des Uranpecherzes 20

Radium 22

Polonium 23

Aktinium 24

Chemische Eigenschaften des Radiums 24

Atomgewicht 24

Spektrum 25

Salze des Radiums 25

Radiumpräparate 26

III. Die radioaktive Strahlung 26

Die Natur der Strahlung 27

Die γ-Strahlen 28

Die β-Strahlen 30

Die α-Strahlen 33

IV. Die Wirkungen der Becquerelstrahlen . . . 37

Fluoreszenzwirkungen 37

Wärmewirkungen 39

Chemische Wirkungen 43

Photographische Wirkungen 44

Seite
Mechanische Wirkungen 45
Elektrische Wirkungen 47
Physiologische Wirkungen 52

II. Abschnitt.

Die Umwandlungsprodukte der radioaktiven Stoffe 54
Uran X und Thor X 54
Emanation 57
Eigenschaften der Emanationen 59
Verdichtbarkeit 59
Verbindungsfähigkeit 61
Gasgesetze 61
Die radioaktiven Eigenschaften der Emanation . . . 62
Die Lebensdauer der Emanationen 66
Das Abklingen der Thoremanation 66
Das Abklingen der Aktiniumemanation 68
Das Abklingen der Radiumemanation 68
Gültigkeit der Abklingungsgesetze 69
Volumen der Radiumemanation 69
Vorkommen der Radiumemanation, Fontaktoskop und Bedeutung für die physiologischen Wirkungen radioaktiver Quellwasser 70
Mitgeteilte Radioaktivität 73
Natur der mitgeteilten Aktivität 75
Mitgeteilte Aktivität, durch Eintauchen in Radiumlösung erhalten 76
Mitgeteilte Aktivität, erhalten durch gemeinsames Auflösen mit radioaktiven Stoffen 76
Abklingungsgeschwindigkeiten der mitgeteilten Aktivitäten 77
Praktische Verwertung dieser Unterschiede 78
Die komplexe Natur der mitgeteilten Aktivität und die weiteren Desaggregationsprodukte 80
Das Endprodukt der radioaktiven Umwandlung . . 83
Erklärung der radioaktiven Umwandlung durch die Elektronentheorie 87
Die Elektronentheorie 88

I. Abschnitt.

I. Strahlungserscheinungen.

Wenn in dem kleinen Raum des vorliegenden Büchleins ein Überblick gegeben werden soll über die Forschungen auf dem Gebiete der Radioaktivität, so ist dies nur möglich unter Beiseitelassung aller berechnenden und spekulierenden Hypothesen, mit denen dieses jüngste Thema der naturwissenschaftlichen Forschung namentlich von englischer Seite so reich geschmückt worden ist. Es kann sich deshalb hier auch nicht um eine ausführliche Schilderung oder ein näheres Eingehen in einzelne Untersuchungsgebiete handeln, sondern es ist in möglichster Kürze ein Bild von dem Wesen und den bisherigen Resultaten der Radiumforschung zu entwerfen.

Historische Übersicht.

Strahlende Materie. In den Jahren 1818 und 1819 berichtete der noch jugendliche englische Physiker Faraday in einer Reihe von Vorträgen über Untersuchungen, die er über den Aggregatzustand der Materie angestellt hatte. Er zeigte, wie wesentliche Unterscheidungsmerkmale fester Körper, z. B. deren Härte, verschwinden, wenn sie verflüssigt werden, wie dann diese wiederum beim Vergasen in Formen gebracht werden, die nur geringe Unterschiede in Färbung und Gewicht aufweisen. Er folgerte daraus, ohne allerdings einen experimentellen Beweis erbringen zu können, daß der gasförmige Aggre-

gatzustand keineswegs die letzte der Modifikationen eines Körpers sei, vielmehr glaubte er ein Stadium der Umwandlung annehmen zu dürfen, in welchem alle physikalischen Unterschiede der verschiedensten Körper nicht mehr vorhanden seien. Faraday prägte für diesen Zustand den Namen der „strahlenden Materie".

Wenn er auch, wie oben gesagt, nur Analogiebeweise für die Richtigkeit dieser Vermutung bringen konnte und diese an Stelle des exakten Experimentes setzte, so fand doch der Glaube an die Möglichkeit der strahlenden Materie allgemeine Verbreitung.

Die Kathodenstrahlen. In der Tat glaubte auch Crookes etwa 50 Jahre später den Zustand der strahlenden Materie gefunden zu haben, als er durch einen nahezu luftleeren Raum eine elektrische Entladung schickte. Er fand, daß von dem negativen Pol der Stromzuführung, der Kathode, senkrecht zu ihrer Oberfläche Strahlungen ausgingen, die geradlinig durch die luftverdünnte Röhre fortschritten und die von ihnen getroffenen Glaswandungen zu lebhafter Fluoreszenz erregten. Diese von ihm als Kathodenstrahlung bezeichnete Erscheinung zeigte aber auch die merkwürdige Eigenschaft, daß Hindernisse, die in den Weg der Strahlen gebracht wurden, bei genügend starker Entladung bis zur Glut erhitzt wurden, während auf der phosphoreszierenden Glaswand ein scharfbegrenzter Schattenriß des Hindernisses entstand. Machte man das Hindernis beweglich, indem man ihm die Form eines auf Schienen laufenden Rädchens mit Glimmerschaufeln gab, so begann dieses, gleichsam von den vordrängenden Strahlen getrieben, zu rollen.

Endlich fand Crookes, daß die Kathodenstrahlen durch einen hinreichend kräftigen Magnet aus ihrer Bahn

abgelenkt werden können und sich dann in spiraliger Form um dessen Kraftlinien bewegen.

Crookes gab für diese Erscheinungen die Erklärung, daß den Atomen des stark verdünnten Gases an der Kathode elektrische Ladung erteilt werde, daß sie dort abgestoßen werden und daß sie, solange sie im elektrischen Feld bleiben, kinetische Energie und hohe Geschwindigkeit annehmen.

Im wesentlichen bekennt sich auch unsere heutige Forschung zu dieser Erklärung, nur setzt sie an Stelle der geladenen Atome viel kleinere Teile, die Elektronen, und spricht diese als Zentren negativer elektrischer Energie an.

Das Wesen der Strahlung. Diese Auffassung, Strahlen als kleine materielle Teilchen anzusehen, die sich mit großer Geschwindigkeit durch den Raum bewegen, war keineswegs neu. Schon Newton hatte eine durchaus gleiche Erklärung für die Fortpflanzung des Lichtes gegeben; aber gerade für diesen Fall konnte die „Korpuskulartheorie", wie man die gegebene Erklärung für die Strahlung nannte, den Ergebnissen der späteren Forschung nicht standhalten. Die Entdeckung der magnet-elektrischen Induktion durch Faraday lieferte für Clerk Maxwell den Schlüssel, die Lichtstrahlen als eine Wellenbewegung des Weltäthers anzusehen, die durch ungeheuer schnelle Schwingungen elektrischer Ladungen im Molekel oder Atom erzeugt wird. Die glänzenden Versuche von Hertz bestätigten diese Annahme.

Es gehört in das Gebiet der Physik, auf diese Theorien näher einzugehen, doch sei hier zusammenfassend gesagt: Unter Strahlungserscheinungen verstehen wir heute:

1. Schwingungen des Äthers;

2. die Emission kleinster elektrisch geladener Teilchen, die sich mit großer Geschwindigkeit durch den Raum bewegen.

Als erstes Beispiel dieser letzteren Art der Strahlung haben wir die Kathodenstrahlen kennen gelernt. Ihr Strahlungsrayon ist durch die Wandungen der mit stark verdünntem Gas gefüllten Röhre begrenzt, woselbst sie die bekannten Fluoreszenzerscheinungen hervorrufen. Im Anschluß daran wollen wir ein Beispiel von Strahlen erläutern, die als Schwingungen des Äthers aufzufassen sind.

Die Röntgenstrahlen. Im Jahre 1895 entdeckte Röntgen, daß die Crookesschen Röhren noch eine andere Art von Strahlen auszusenden vermögen, die durch die Glaswand der Röhre hindurch in den Raum treten. Diese, von ihrem Entdecker X-Strahlen, heute aber wohl allgemein als Röntgenstrahlen bezeichneten Erscheinungen sind dem menschlichen Auge nicht direkt wahrnehmbar. Es bedarf, ähnlich wie der Glaswandungen für die Kathodenstrahlen, gewisser Substanzen, die, in die Strahlenbahn gebracht, durch starke Fluoreszenz das Vorhandensein der sie treffenden Strahlen anzeigen. Am häufigsten für derartige Zwecke verwendet man Kartonschirme, die mit Bariumplatincyanür bestrichen sind.

Die Röntgenstrahlen entstehen aus den Kathodenstrahlen, und zwar da, wo die letzteren die Glaswandungen der Röhre oder ein im Inneren der Röhre vorhandenes Hindernis treffen.

Gibt man, wie Figur 1 zeigt, der Kathode einer Crookesschen Röhre die Form eines Hohlspiegels H, so werden die Kathodenstrahlen sich in einem Brennpunkte vereinigen. Man legt nun durch denselben in beliebiger

Neigung gegen den Weg der Strahlen eine Platinplatte, eine sogenannte Antikathode *A*, die zugleich die Anode bildet und in neueren Röhren, um die starke Erhitzung zu vermeiden, mit einer sinnreichen Kühlung versehen ist.

Beim Betrieb einer solchen „Röntgenröhre" wird die Geschwindigkeit der an der Antikathode aufprallenden Kathodenstrahlenteilchen plötzlich gleich Null, und

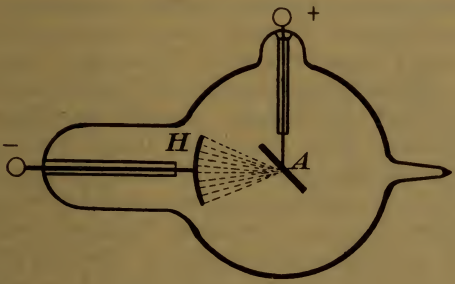


Fig. 1. Röntgenröhre.

die von jenen mitgeführte elektrische Ladung erregt an der Antikathode eine elektromagnetische Stoßwelle, den Röntgenstrahl.

Aus dieser Überlegung geht hervor, daß die Röntgenstrahlen durch elektromagnetischen Anstoß erregte Ätherwellen sind, wie die Lichtstrahlen; doch dürfte ihre Wellenlänge eine durchaus andere, kleinere sein, wofür der Umstand spricht, daß es bis jetzt nicht gelungen ist, die Versuche der Polarisation, Brechung und Reflexion bei den Röntgenstrahlen mit Erfolg durchzuführen.

Eigenschaften der Röntgenstrahlen. Von der Kraft, mit welcher die Kathodenstrahlen auf die Antikathode aufprallen, hängt die Fähigkeit der Röntgenstrahlen ab,

einen Körper zu durchdringen. Die Kraft jenes Aufprallens aber wächst mit der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlenteilchen und diese mit der Verdünnung des Gasinhaltes der Röhre. Es stellt also eine stark luftverdünnte, sogenannte „harte" Röhre den besten Erzeuger für stark durchdringende Röntgenstrahlen dar.

Bringt man zwischen die strahlenerregende Röhre und den Platincyanbariumschirm Platten von gleicher Dicke, aber verschiedenem Material, so wird man aus der mehr oder minder abgeschwächten Fluoreszenz entnehmen können, daß die Röntgenstrahlen die Platten unabhängig von der Natur der Materie, aber in ungefährer Proportionalität zu deren spezifischer Dichte durchdringen. Es wird also die Röntgenstrahlung durch eine Aluminiumplatte deutlicher wahrnehmbar sein, als durch eine gleichdicke Eisenplatte, und durch diese wiederum deutlicher, als durch eine gleichstarke Bleiplatte. Daß die Röntgenstrahlen durch den Magnet nicht abgelenkt werden, ist, da sie nicht korpuskularer, sondern undulatorischer Natur (d. h. Ätherwellen) sind, klar verständlich.

Von besonderer Bedeutung jedoch ist ihre chemische Wirksamkeit. Die photographische Trockenplatte ist für die Röntgenstrahlen empfindlich und man kann, selbst bei Tageslicht, durch die geschlossene Kassette hindurch den Schattenriß aufgelegter Körper dauernd fixieren. Die Röntgenaufnahmen bilden heute eine allgemein bekannte Tatsache, so daß näher darauf einzugehen unnötig ist.

Endlich erübrigt es, die für Entwicklung unserer Ausführungen wichtigste Eigenschaft der Röntgenstrahlen zu nennen. Gehen nämlich die Strahlen durch die Luft oder andere Gase hindurch, die unter gewöhnlichen Umständen Isolatoren oder nur schwache Leiter der Elektrizität sind,

so ionisieren die Strahlen das Gas, d. h. sie machen es vorübergehend zu einem Leiter der Elektrizität.

Das Elektroskop. Der einfachste und beste Apparat, dies nachzuweisen, ist das Elektroskop. Wie Fig. 2 zeigt, stellt es in der von Exner angegebenen Form eine aufrechtgestellte flache, runde Dose aus Metall dar, in deren Boden ein Stück gut isolierenden Bernsteins eingelassen

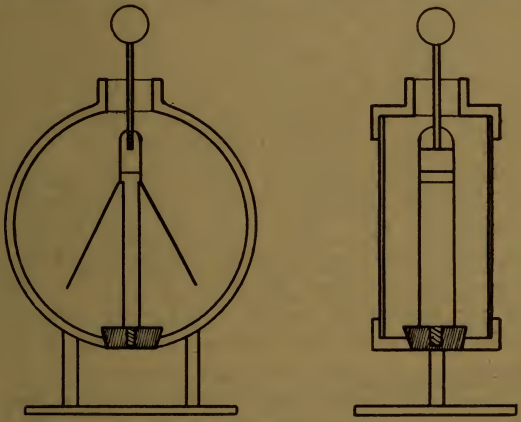


Fig. 2. Elektroskop.

ist. Dieser trägt eine flache Messingstange, die, in einen Stab übergehend, durch ein kleines Loch im oberen Teile der Dose aus dieser heraustritt und in eine Metallkugel oder einen Metallzylinder, wobei man tunlichst scharfe Kanten vermeidet, endet. An den Breitseiten der Messingstange sind zwei dünne Gold- oder Aluminiumblättchen mit ihren oberen Rändern derart befestigt, daß es möglich ist, sie scharnierartig von der Stange abzuspreizen, wie dies in der Figur gezeichnet ist.

Um das Elektroskop zu laden, berührt man die Kugel mit einem durch Reiben elektrisch gemachten Körper (Siegellack, Schwefel, Glas, Ebonit). Die Blättchen divergieren dann infolge der Abstoßung gleichnamiger Elektrizitäten. Da der Bernstein ein trefflicher Isolator ist, so kann sich die in den Blättchen und Blättchenträgern angehäufte, je nach Ladung negative oder positive Elektrizität nur durch die umgebende Luft ausgleichen. Unter gewöhnlichen Umständen ist diese aber ein sehr schlechter Leiter der Elektrizität und das Elektroskop kann mehrere Tage die ihm erteilte Ladung behalten.

Läßt man aber die Luft durch Röntgenstrahlen ionisieren, so erhält sie sofort Leitfähigkeit und in kurzer Zeit wird sich die Ladung des Elektroskopes ausgeglichen haben, d. h. die Blättchen werden zur Mittelbacke zusammengefallen sein. Die Empfindlichkeit des Instrumentes hängt von seiner Kapazität (elektrisches Fassungsvermögen) ab und diese ist abhängig von den Dimensionen der Metallteile, welche die Ladung bekommen.

Es ist aber auch ohne weiteres klar, daß, je größer die Ionisation der Luft durch die Strahlen ist, um so größer auch die Entladungsgeschwindigkeit des Elektroskopes sein wird. Es ist also durch dieselbe ein Maß für die Intensität der Strahlung gegeben.

Die Becquerelstrahlen. Wir hatten gesehen, daß die Kathodenstrahlen dort, wo sie die Wandungen der Crookesschen Röhre oder in die Strahlenbahn gebrachte phosphoreszierende Substanzen treffen, diese zum Fluoreszieren bringen. Man war zunächst der Ansicht, daß die hierbei entstehenden Röntgenstrahlen eine stets auftretende Wirkung der Fluoreszenz seien, gleichviel, welche Ursachen diese Lichterscheinung haben möge, und begann nun verschiedene fluoreszierende Substanzen

daraufhin zu untersuchen. Der bekannte französische Physiker Becquerel wollte sich dabei der photographischen Wirksamkeit der Röntgenstrahlen bedienen. Er legte ein Uransalz auf eine in lichtdichtes Material eingewickelte photographische Platte und brachte dann das Salz zum Fluoreszieren, indem er es einige Zeit ins Sonnenlicht legte. Er fand dann beim Entwickeln der Platte, daß die Stellen, über denen das Salz gelegen hatte, deutliche Schwärzung zeigten, ja er erhielt diese sogar, als er zwischen das lichtdichte Papier und das Salz eine Lage Aluminium- oder Kupferfolie einschob. Als nun Becquerel diese Versuche wiederholte, ohne jedoch das Uransalz vorher belichtet zu haben, erhielt er dieselben Resultate. Ja noch mehr, sie stellten sich sogar mit der gleichen Schärfe ein, als er Uransalze anwandte, die im Dunkeln hergestellt und im Dunkeln aufbewahrt worden waren, Verbindungen, die also keine Fluoreszenz zeigen konnten. Sogar nach Jahren noch wirkten diese im Dunkeln aufbewahrten Salze auf die photographische Platte ein.

Becquerel zog aus diesen Erscheinungen den Schluß, daß es sich hier um eine neue Art von photographisch wirksamen, dem Auge unsichtbaren Strahlen handle, die auszusenden eine spezifische Eigenschaft des Elementes Uran sei. Er stellte fest, daß diese Strahlen die Gase ionisieren, wie es von den Röntgenstrahlen bekannt ist. Versuche über ihre Reflektions-, Polarisations- und Brechungsfähigkeit führten jedoch zu keinem befriedigenden Resultat. Diese Uranstrahlen, für welche wir den heute allgemein üblichen Namen Becquerelstrahlen beibehalten wollen, wurden in der Folge auch von Frau Curie weiter untersucht, und diese treffliche Forscherin hat denjenigen Substanzen, die Becquerelstrahlen aus-

zusenden vermögen, den aus dem lateinischen „radius“ = der Strahl abgeleiteten Namen „radioaktiv“ gegeben.

II. Die radioaktiven Stoffe.

Die Untersuchungen der Frau Curie richteten sich in erster Linie darauf, zu erforschen, ob noch andere radioaktive Substanzen, als das Uran, existieren.

Sie fand, daß das Element Thor ebenfalls Becquerelstrahlen aussendet, eine Entdeckung, die gleichzeitig und unabhängig von ihr auch von Schmidt gemacht wurde.

Die Untersuchungen erstreckten sich natürlich nicht bloß auf die reinen Elemente, sondern auch auf deren chemische Verbindungen, namentlich auf Mineralien, wobei sich herausstellte, daß verschiedene derselben, z. B. die Uranpechblende von Joachimsthal in Böhmen, der Chalkolith, der Autunit, eine weit kräftigere Strahlung äußerten, als ihnen nach ihrem Urangehalte zukommen konnte. Da andererseits die Radioaktivität z. B. des künstlich hergestellten Chalkolits, welcher Kupferuranphosphat ist, kleiner als die des natürlichen Minerals, aber seinem Gehalt an Uran durchaus entsprechend war, erschien es wahrscheinlich, daß die genannten Mineralien ihre hohe Aktivität der Beimengung unbekannter, stark aktiver Substanzen verdankten, die denn auch mit Hilfe der chemischen Analyse von Herrn und Frau Curie im Verein mit Bémont in den neuen Elementen *Polonium* und *Radium* gefunden wurden.

Markwald, der sich mit ähnlichen Arbeiten, wie die Curies, befaßte, fand bald danach ebenfalls in den Rückständen der Uranpechblende einen weiteren aktiven Körper, den er wegen der Ähnlichkeit seines chemischen Verhaltens mit dem des Tellurs als *Radiotellur* bezeichnete,

der aber nach dem Ergebnis neuerer Forschungen mit dem Polonium identisch zu sein scheint.

Des weiteren fand Debierne in der Pechblende einen Stoff, den er als „*Aktinium*“ bezeichnete und der mit dem Lanthan Verwandtschaft zeigt und identisch ist mit dem von Giesel beschriebenen „Emanium“.

Einen weiteren radioaktiven Körper haben Elster und Geitel, sowie Engler und gleichzeitig Ramsay und Hahn nachgewiesen und ihn, seiner Beziehungen zum Thor halber, als Radiothor bezeichnet. Dieser noch nicht frei dargestellte Stoff nimmt besonderes Interesse in Anspruch, weil er zuerst in deutscher Erde, dem Thermalschlamm der Quellen von Baden-Baden, nachgewiesen wurde.

So sehen wir im Zeitraum weniger Jahre die Entdeckung einer Reihe neuer und interessanter Stoffe vor sich gehen. Wir wollen unsere Betrachtungen im wesentlichen auf das Radium beschränken, das in seinen wohlerforschten Eigenschaften als der wichtigste Vertreter aller radioaktiven Stoffe gelten kann.

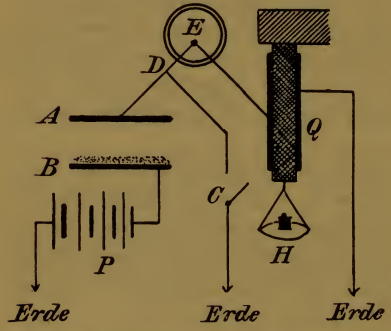
Die Messung der Aktivität.

Frau Curie bediente sich, für die vergleichende Messung der Radioaktivitäten verschiedener Stoffe, der Beobachtung der Leitfähigkeit, die eine Luftschicht unter dem Einfluß der ausgesandten Strahlen erhält. Zu diesem Zwecke verwendete sie den in Fig. 3 schematisch skizzierten Apparat.

Die Metallplatte B eines Plattenkondensators ist mit einer Schicht der zu untersuchenden, fein pulverisierten Substanz bedeckt. Sie erhält ein hohes elektrisches Potential, indem sie mit dem einen Pol einer Akkumulatorenbatterie P verbunden ist, deren anderer Pol zur

Erde abgeleitet wird. Ihr gegenüber ist die Platte A befestigt, die einesteils mit dem Elektrometer E in leitender Verbindung steht, anderenteils über D-C zur Erde abgeleitet ist. Die von der Substanz ausgehende radioaktive Strahlung wird die Luft zwischen den Platten leitend machen.

Verbindet man durch Schließen des Kontaktes C die Platte A mit der Erde, so entsteht zwischen B und A ein elektrischer Strom. Unterbricht man dann die Verbindung zur Erde, so lädt sich A, und diese Ladung wird eine Ablenkung der Nadel des Elektrometers E bewirken. Diese Ladung von A kompensiert man nun durch eine meßbare elektrische Ladung entgegengesetzten Vorzeichens, so daß sich das Elektrometer auf Null einstellt.



F 3. Curies Apparat zur Messung der Radioaktivität.

Die kompensierende Ladung entnimmt man einem piezoelektrischen Quarz Q, der unter dem Einfluß der Zugkraft H eine bekannte Elektrizitätsmenge entwickelt, indem sich die eine Seite des Quarzstückes Q positiv, die andere negativ elektrisch lädt. Durch entsprechende Verbindung der Quarzbelege mit dem Elektrometer einerseits und der Erde andererseits wird die daselbst angezeigte Ladung der Platte A ausgeglichen und die Nullstellung der Nadel herbeigeführt. Durch die Größe der

Belastung H ist dann die in einer bestimmten Zeit zwischen den beiden Platten A und B unter dem Einfluß der radioaktiven Strahlung übergehende Elektrizitätsmenge in absoluten Einheiten meßbar. Die Empfindlichkeit des Elektrometers spielt dabei keine Rolle.

Vergleichswerte der Radioaktivität.

Es sind im folgenden Namen und Radioaktivität einiger von Frau Curie untersuchter Stoffe aufgeführt. Die Zahlenwerte geben in Ampere die Stärke desjenigen elektrischen Stromes an, der durch die Luft gehen kann, wenn diese durch die Strahlung der radioaktiven Substanz leitend gemacht ist. Letztere war dabei auf eine Fläche von 64 qcm ausgebreitet.

1. Uranverbindungen.

	$\times 10^{-11}$ Amp.
Metallisches Uran	2,3
Schwarzes Oxyd U_2O_5	2,6
Grünes Oxyd U_3O_8	1,8
Uranhydroxyd $UO_3 . 2H_2O$	0,6
Kalium- oder Natriumuranat $K_2U_2O_7$ und $Na_2U_2O_7$	1,2
Urankaliumsulfat $UO_2SO_4 . K_2SO_4 . 2H_2O$	0,7
Uranylnitrat $UO_2(NO_3)_2 . 6H_2O$	
Uranylsulfat $UO_2SO_4 . 3H_2O$	1,2

2. Thorverbindungen.

Thoroxyd	5,5—2,2
Thorsulfat	0,8

3. Mineralien.

Pechblende aus Johanngeorgenstadt	8,3
„ „ Joachimsthal	7,0

Pechblende Pzibram	6,5
Chalkolith	5,2
Autunit	2,7
Thorit	1,4—0,1
Monazit	0,5
Carnotit	6,2

Die Thorverbindungen zeigen verschiedene Werte, die von der Dicke der Schicht des ausgebreiteten Materials abhängig sind, ein Umstand, der bei den Uranverbindungen weniger zum Ausdruck kommt und seine Ursache in dem Auftreten der mitgeteilten Aktivität hat, worüber in einem späteren Kapitel berichtet wird.

Das radioaktive Atom.

Der Umstand, daß reines Uran eine stärkere Radioaktivität äußert als seine Verbindungen, diese alle aber radioaktiv sind, was ebenso für das Thor und die Thorverbindungen gilt, daß ferner diese Eigenschaft weder durch Änderung des physikalischen Zustandes, noch durch chemische Umwandlungen zerstört wird, berechtigt zu dem Schluß, daß die Radioaktivität eine Eigenschaft der Atome ist.

Die Aktivität von Verbindungen oder Gemengen wächst mit dem Gehalt an Thor oder Uran, inaktive Substanzen wirken dabei als träge Beimengungen, teilweise sogar als Absorptionsmittel für die radioaktive Strahlung.

Die Radioaktivität scheint eine allen Atomen zukommende Eigenschaft zu sein, doch steht dies nur für die in diesem Schriftchen aufgeführten Elemente unbedingt fest. Die Radioaktivitäten der anderen Elemente bleiben mehrere tausendmal hinter jener des Urans zurück.

Einige Stoffe, vornehmlich der Phosphor, zeigen übrigens Wirkungen bezüglich der Ionisation der Luft, die mit jenem der radioaktiven Strahlung identisch zu sein scheinen. Doch handelt es sich hierbei um die Begleiterscheinung von Oxydationsprozessen, also chemischen Umwandlungen, die bei den Radioaktivitätsäußerungen von Uran und Thor keineswegs auftreten. Auch sind die Phosphorverbindungen inaktiv.

Die Radioanalyse.

Als Kirchhoff und Bunsen bei der Analyse des Dürkheimer Wassers das Rubidium und Cäsium entdeckten, bedienten sie sich der Spektralanalyse als Führers. Sie führten so lange chemische Trennungen aus, solange sie aus der Stärke der beiden hellblauen Linien im Spektrum eine Anreicherung des Cäsiums wahrnehmen konnten.

Zweifellos ist das Radium zu den Elementen zu rechnen, die die empfindlichste Spektralreaktion besitzen, aber dennoch vermag man mit Hilfe der elektroskopischen Methode noch den 150 000. Teil jener Radiummenge zu erkennen, den der Spektralapparat eben noch anzeigt. Die leichte Ausführbarkeit und die Sicherheit der Radioaktivitätsanalyse übertrifft bei weitem die Methoden der chemischen Analyse. Sie vermag Mengen radioaktiver Substanz nachzuweisen, die millionenmal kleiner sind als die zur gewöhnlichen Analyse erforderlichen. Äußere Einflüsse, die die Radioaktivität verschleiern, sind so gut wie ausgeschlossen, da wir es hier mit einer Eigenschaft der Atome, nicht der Verbindungen zu tun haben. So gestaltet sich die Radioanalyse zu einer durchaus quantitativen Untersuchungsmethode. Da aber, wie wir später sehen werden, gewisse

Erscheinungen sofort erkennen lassen, ob die Radioaktivität von Thor, Uran, Radium oder anderen Stoffen herrührt, so ist es auch möglich, ohne Heranziehung der chemischen oder spektroskopischen Analyse qualitative Prüfungen in dieser Hinsicht durchzuführen.

Über den Gang der Radioaktivitätsanalyse läßt sich sagen: Man bestimmt die Aktivität eines Produktes, führt mit ihm eine chemische Trennung aus, mißt die Aktivitäten der Endprodukte und stellt fest, in welcher Weise sich die ursprüngliche Aktivität verteilt hat. Es bietet dem Chemiker wenig Schwierigkeiten, mit Hilfe dieses Wegzeigers eine Anreicherung der Aktivität in einem Endprodukte zu erzielen oder, mit anderen Worten, die inaktiven Stoffe abzuscheiden.

Da die Zahlenwerte dieser radioaktiven Messung Vergleichswerte sind, so müssen die zur Untersuchung gelangenden Stoffe unter gleichen Bedingungen gemessen werden. Man untersucht sie nur in festem, gut getrocknetem und pulverisiertem Zustand.

Die Analyse des Uranpecherzes. Die Durchführung des chemischen Verfahrens zur Isolierung der radioaktiven Substanzen wird am typischsten erläutert an der Beschreibung der Methode, die Frau Curie anwandte bei der Erschließung der Uranpechblende.

Das Verfahren läßt sich generell teilen:

1. in die Abscheidung der drei Rohprodukte: radiumhaltiges Barium, poloniumhaltiges Wismut, aktiniumhaltige seltene Erden;
2. in die Abscheidung der reinen radioaktiven Substanzen aus diesen Rohprodukten durch Fraktionierverfahren.

Die Pechblende wird in Joachimsthal in Böhmen gebrochen und dort auf Uran verarbeitet. Zu diesem

Zwecke wird das Mineral zerkleinert, dann mit Natriumkarbonat geröstet und in warmem Wasser und verdünnter Schwefelsäure ausgelaugt. Die Lösung enthält das Uran, der Rückstand die radioaktiven Substanzen, für deren Gewinnung er das Ausgangsmaterial bildet. Seine Aktivität beträgt das 4,5-fache der des Urans.

Diese Sulfate werden mit konzentrierter Sodalösung gekocht, wodurch sie zum Teil in Karbonate übergehen. Das dabei entstehende lösliche Natriumsulfat wird durch Waschen entfernt. Der Rückstand ist zum größten Teil in Salzsäure löslich, auch das Polonium und Aktinium. Das Radium bleibt als ungelöstes und unverändertes Sulfat neben den Sulfaten von Blei, Kalzium usw. zurück.

Ist die Schwefelsäure nach Möglichkeit ausgewaschen, so werden die Sulfate mit konzentrierter kochender Natronlauge behandelt. Blei, Aluminium und Kalzium geben ihre Schwefelsäure als Natriumsulfat ab, das gleichzeitig mit dem gebildeten Blei- und Aluminiumhydroxyd, sowie dem aufgeschlossenen Silizium ausgewaschen wird. Es bleibt endlich ein Rückstand, der, mit kalter Salzsäure behandelt, zum größten Teil in Lösung geht.

Aus dieser Lösung wird durch Schwefelwasserstoff Polonium abgeschieden, aus dem Filtrate hiervon fällt nach der Oxydation neben anderen Hydroxyden Aktinium mit Ammoniak.

Der bei der Salzsäurebehandlung bleibende unlösliche Teil enthält das Radium. Man verfährt mit ihm wie ursprünglich mit dem Rohmaterial, indem man ihn mit konzentrierter Sodalösung in die Karbonatform überführt und nach dem Waschen in einer Salzsäure löst, die keine Spur von Schwefelsäure enthalten darf.

Diese salzsaure Lösung versetzt man mit Schwefelsäure und schlägt dadurch rohe Sulfate von radium-

haltigem Barium nieder; Kalzium, Blei, Eisen und etwas Aktinium werden dabei mitgerissen. Die Hauptmenge des letzteren, soweit es überhaupt noch vorhanden war, bleibt, wie auch Polonium, in der Lösung und diese beiden können, wie bei der ersten salzsauren Lösung, gefällt und getrennt werden.

Die rohen Sulfate werden durch Kochen mit Soda zunächst in Karbonate verwandelt, dann durch Salzsäure eine Chloridlösung hergestellt, endlich daraus nacheinander mit Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Soda Niederschläge erzeugt, die ihre Aktivität entsprechend dem Polonium, Aktinium und Radium verdanken. Die zuletzt niedergeschlagenen Karbonate werden mit konzentrierter schwefelsäurefreier Salzsäure in Chloride übergeführt und gewaschen. Es löst sich hierdurch Kalziumchlorid vollständig und es bleibt ein zur Fraktionierung geeignetes radiumhaltiges Bariumchlorid von ungefähr der 60fachen Aktivität des metallischen Urans.

Radium. Um aus diesem Rohprodukt ein reines Radiumchlorid zu erhalten, bedient man sich nach Curie der Tatsache, daß Radiumchlorid in Wasser und Salzsäure weniger löslich ist als Bariumchlorid, und gründet darauf ein Verfahren der fraktionierten Kristallisation.

Indem man zuerst aus einer heiß gesättigten Lösung des Chlorides in destilliertem Wasser beim Erkalten einen Teil auskristallisieren läßt, findet man diesen fünfmal stärker aktiv, als jenen, den man beim Eindampfen der Mutterlauge erhält. Man setzt diese Methode der Trennung fort und erhält, indem man jeweils die aktiven und inaktiven Teile entsprechend zusammenwirft, schließlich zwei Produkte, von denen das eine nahezu inaktiv, das andere von höchster Anreicherung der Aktivität ist.

Natürlich werden mit fortschreitender Fraktionierung die Portionen des zu kristallisierenden Körpers immer kleiner. Man verhütet dann ein Zuwenigwerden der Lösungsmenge, indem man dem Wasser immer größere Mengen Salzsäure zusetzt, in der die Chloride weniger löslich sind.

Hat der Radiumgehalt der Kristalle eine gewisse Höhe erreicht, so färben sie sich, doch verschwindet die Farbe beim Auflösen wieder.

Im übrigen zeigen die Radiumchloridkristalle volle Analogie mit denen des Bariumchlorides.

Vorteilhafter als das Arbeiten mit Salzsäure hat sich, wie Giesel angibt, das Kristallisieren mit Bromwasserstoffsäure erwiesen.

Die im Verlauf des Verfahrens erhaltenen Präparate zeigen niemals gleich zu Anfang die volle Aktivität. Diese erlangt erst nach mehrmonatlichem Lagern ihr Maximum. Die Anfangsaktivität ist um so schwächer, je länger der Körper sich in Lösung befunden hatte.

Polonium. Polonium wird bei der Aufbereitung der Pechblende verschiedentlich als Sulfid durch Schwefelwasserstoff gefällt, gleichzeitig mit Wismut und geringen Mengen von Blei und Kupfer. Die Sulfide werden durch Salpetersäure in Oxyde und Subnitrate übergeführt, die zum Teil in Salpetersäure gelöst und einer fraktionierten hydrolytischen Fällung durch Wasser unterworfen werden. Das resultierende Produkt ist ein stark poloniumhaltiges Wismut.

So weit die Arbeit von Frau Curie.

Markwald scheidet einen aktiven Niederschlag aus einer Wismutchloridlösung der Pechblendeverarbeitung aus, indem er einen Stab von reinem Wismut in die genannte Lösung taucht. Der Niederschlag überzieht den

Stab, während in der Lösung nur inaktives Wismut bleibt. Da andererseits radioaktives Wismutchlorid mit Zinnchlorid ebenfalls einen aktiven Niederschlag liefert, der in chemischer Hinsicht eine gewisse Analogie mit dem Tellur zeigt, gibt Markwald dem gefundenen aktiven Produkte den Namen Radiotellur. Diese Substanz scheint aber mit dem Polonium der Frau Curie identisch zu sein. Bemerkenswert erscheint immerhin die Tatsache, daß sich in der Abscheidung des Radiotellurs die höchste Leistungsfähigkeit der chemischen Analyse dartut.

Ohne auf die Methode einzugehen, sei gesagt, daß Markwald aus 2000 kg Pechblende nur 4 mg des aktiven Niederschlages erhielt, d. h. einen Teil aus 500 Millionen Teilen!

Aktinium. Unter den Fällungsprodukten in der Ammoniakgruppe fand Debierne bei der Analyse der Pechblende ein Element, das alle charakteristischen Eigenschaften der Radioaktivität aufwies und Aktinium benannt wurde. In seinem chemischen Verhalten lehnt es sich stark an Thor an. Ein nach neuesten Feststellungen mit dem Aktinium identischer Körper wurde von Giesel unter dem Namen „Emanationssubstanz" beschrieben.

Chemische Eigenschaften des Radiums.

Atomgewicht. Zur Ermittelung des Atomgewichts des Radiums bediente sich Frau Curie der Methode, aus einer bekannten Gewichtsmenge Radiumchlorid durch Silbernitrat Silberchlorid zu fällen und das Gewicht des letzteren zu ermitteln. Dabei war angenommen, daß das Radium als zweiwertiges Element zu betrachten sei. Die erhaltenen Werte schwankten und lagen in der Nähe des Atomgewichtes des Bariums (137). Erst reinste Präpa-

rate, in denen das Barium gerade noch spektroskopisch nachweisbar war, lieferten den wiederholt übereinstimmenden Wert 225. Dadurch stellt sich das Radium als drittschwerstes Element neben Uran (238) und Thor (232), was die später zu erläuternden radioaktiven Eigenschaften in zufriedenstellender Weise erklären hilft.

Die Stellung im periodischen System, die durch dieses Atomgewicht bedingt wird, weist auf die nahe Verwandtschaft mit Barium hin, mit welchem Element ja das Radium so viele chemische Analogien zeigt.

Spektrum. Das Spektrum des Radiums ist von Demarçay, sowie von Runge und Precht untersucht worden. Es ist das normale Spektrum eines Erdalkalimetalls. Die stärksten Linien verhalten sich wie die entsprechenden Linien des Bariums, Kalziums und Strontiums. Aus dem gegenseitigen Abstand der letzteren haben Runge und Precht durch Extrapolation das Atomgewicht des Radiums berechnet und den Wert 257,8 gefunden. Damit würde Radium in die Familie des Quecksilbers und Kadmiums zu setzen sein, was in Widerspruch mit seinem chemischen Verhalten und der Beschaffenheit seines Spektrums steht. Dieser Widerspruch ist bis jetzt noch nicht aufgeklärt worden. Der experimentell ermittelte Wert 225 darf daher den Vorzug erhalten.

Salze des Radiums. Die Salze des Radiums zeigen durchaus große Ähnlichkeit mit jenen des Bariums. Sie färben sich jedoch im Laufe der Zeit etwas. Die Löslichkeit im Wasser scheint für das Nitrat dieselbe zu sein wie beim Barium. Bromid und Chlorid sind schwerer löslich, wodurch die fraktionierte Kristallisation möglich wird.

Die Radiumsalze entwickeln fortwährend Wärme und leuchten im Dunkeln. Wir werden diese Erscheinungen im nächsten Kapitel erläutern.

Radiumpräparate. Die für experimentelle Zwecke in den Handel gebrachten Radiumpräparate sind meist mehr oder minder bariumhaltiges Radiumchlorid oder Bromid. Ihr Preis schwankt zwischen 100 und 300 Mark pro Milligramm.

Die Aufbewahrung geschieht in Hartgummikapseln, wie sie Fig. 4 im Schnitt zeigt. Das Salz liegt in der Vertiefung, die mit einem Glimmerplättchen *G* zugedeckt ist. Dieses wird durch die aufschraubbare Messingkappe *M* festgelegt. *M* ist in der Mitte durchbohrt. Diese Kapsel, die nie geöffnet werden soll, legt man beim Nichtgebrauch des Präparats in ein oder in zwei ineinandergeschachtelte Dosen aus dicken Bleiwandungen, um die Äußerungen der Radioaktivität möglichst zu dämmen.

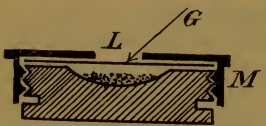


Fig. 4. Aufbewahrungskapsel für ein Radiumpräparat.

III. Die radioaktive Strahlung.

Wir haben im ersten Kapitel drei Methoden kennen gelernt, die uns die Erkennung der Becquerelstrahlen ermöglichen. Es sind dies die Wirkung der Strahlen auf die photographische Platte, die Fluoreszenz einiger Substanzen unter dem Einfluß der Strahlen und endlich die Erhöhung des elektrischen Leitvermögens der Luft infolge der Ionisation dieses Gases durch die Strahlen. Wir sahen auch, wie die photographische und elektrische Methode von Anfang an zu Zwecken der vergleichenden Messung benutzt wurden. Die fluoreskopische Methode

erfordert eine Strahlungsintensität von der Stärke der Röntgenstrahlen, und erst die hochaktiven Produkte, deren Darstellung wir auf den vorhergehenden Seiten kennen gelernt haben, können wir erfolgreich durch diese Methode sichtbar machen.

Für die exakte Messung ist die elektrische die einzig mögliche Art.

Die Natur der Strahlung.

Die von den radioaktiven Substanzen ausgehende Strahlung ist mit wenig Ausnahmen komplexer Natur.

Denken wir uns (Fig. 5) in einer oben offenen Bleihülse ein Radiumpräparat R eingeschlossen, so daß die Strahlung seitlich und nach unten von dem Metall absorbiert wird (vgl. das auf Seite 26 Gesagte), so wird ein Strahlenbündel nach oben entsandt werden. Mit Hilfe eines starken Elektromagneten erzeugen wir nun senkrecht zur Richtung der Strahlen ein magnetisches Feld. Wir erhalten dann eine Abzweigung zweier Strahlengattungen aus dem Bündel in der Art, wie dies in Fig. 5 wiedergegeben ist.

Die eine Gattung Strahlen wird, wie die Kathodenstrahlen, von dem magnetischen Felde in kreisförmige Bahnen abgelenkt. Man nennt sie β-Strahlen.

Die zweite Gattung der Strahlen, die α-Strahlen, wird nur von einem sehr starken magnetischen oder elektrostatischen Feld um ein geringes abgelenkt, und zwar nach der entgegengesetzten Richtung wie die β-Strahlen.

Endlich bleibt ein Rest von Strahlen, die nicht ablenkbar sind, die γ-Strahlen.

Diese Bezeichnungen stammen von Rutherford, der 1899 zuerst den komplexen Charakter der Becquerelstrahlung nachwies.

Die γ-Strahlen. Die Beobachtung dieses Strahlentypus ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, daher ist auch über ihn am wenigsten bekannt. Die γ-Strahlen sind ausgezeichnet durch ein außerordentlich starkes Durchdringungsvermögen. Rutherford gibt an, man müsse die γ-Strahlen durch eine Schicht von 7 cm Blei, 19 cm Eisen und 150 cm Wasser hindurchgehen lassen, um ihre Wirkung um ein Prozent herabzudrücken. Sie werden selbst durch die stärksten magnetischen oder elektrostatischen Wirkungen nicht abgelenkt. In diesen Eigenschaften gleichen sie den Röntgenstrahlen und wir müssen sie, wie jene, als Ätherwellen betrachten.

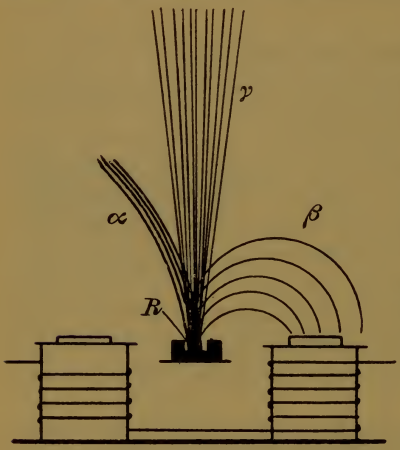


Fig. 5. Die radioaktive Strahlung.

Die γ-Strahlen unterscheiden sich von den Röntgenstrahlen durch ihr stärkeres Durchdringungsvermögen. Dieser Unterschied ist begründet in der Verschiedenheit des Zeitpunktes ihrer Entstehung aus dem primären Korpuskularstrahl.

Beim γ-Strahl liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt, wie beim Röntgenstrahl.

Wir haben auf Seite 8 gesehen, daß die Röntgenstrahlen aus Stoßwellen entstehen, die beim Aufprallen

der Kathodenstrahlenteilchen auf die Antikathode erregt werden. Die Kathodenstrahlenteilchen bewegen sich mit wachsender Geschwindigkeit durch das elektrische Feld und haben beim Aufprallen auf die Antikathode eine große Beschleunigung, welcher die Intensität der entstehenden Stoßwelle und damit das Durchdringungsvermögen des Röntgenstrahles proportional ist.

Die geringste Geschwindigkeit weisen natürlich die Kathodenstrahlen bei ihrer Entstehung auf. Auch hierbei kommt eine Stoßwelle zustande, aber sie ist schwach und der entstehende Röntgenstrahl von so geringem Durchdringungsvermögen, daß er nicht bemerkt werden kann.

Das Umgekehrte ist bei der Entstehung der γ-Strahlen der Fall. Sie sind die Ätherwellen, die beim Austritt der korpuskularen β-Strahlen aus dem Radiumatom entstehen. Dieser Austritt erfolgt plötzlich, explosionsartig und mit maximaler Geschwindigkeit. Die Beschleunigung der β-Teilchen bei diesem Austritt aus dem Radiumatom ist zweifellos größer, als die Beschleunigung der Kathodenstrahlenteilchen beim Aufprallen auf die Antikathode. Demgemäß muß auch die entstehende Stoßwelle kräftiger sein und sie ist ja der γ-Strahl, an dem wir eben auch ein kräftigeres Durchdringungsvermögen wahrnehmen, wie am Röntgenstrahl.

Vergleichen wir eine Röntgenaufnahme und eine Radiographie, die im Strahlungsbereich der γ-Strahlen entstanden ist, so zeigt sich deutlich der Unterschied. Die Röntgenstrahlen mit der weniger hohen Geschwindigkeit werden von der zu durchdringenden Materie leichter absorbiert und liefern z. B. von den Knochen in der Hand ein scharfes Schattenbild. Die γ-Strahlen durchdringen vermöge ihrer hohen Geschwindigkeit Knochen

und Fleisch fast gleichmäßig, und diese so verschieden dichten Teile werden sich im Schattenbilde der Radiographie kaum voneinander abheben.

Lassen wir endlich einen Röntgenstrahl aus den β-Strahlen entstehen, indem wir ein Hindernis in den Weg der β-Strahlen stellen, so wird auch dieser Röntgenstrahl ein schwächeres Durchdringungsvermögen besitzen, als der γ-Strahl. Denn die β-Korpuskeln sind sehr durchdringend und werden infolge ihrer großen Geschwindigkeit selbst durch sehr dichte Materie nicht plötzlich angehalten, es wird nur ihre Beschleunigung herabgemindert. Die hierbei entstehende Stoßwelle kann also nur schwach und von geringer Durchdringungsfähigkeit sein.

Die β-Strahlen. Wir haben schon im vorigen Abschnitt die β-Strahlen wiederholt mit den Kathodenstrahlen verglichen. In der Tat stellen sie wie jene negativ geladene Korpuskeln dar, die mit großer Geschwindigkeit aus dem Radiumatom geschleudert werden.

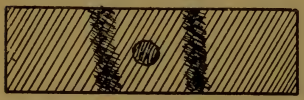


Fig. 6. Photographische Sichtbarmachung abgelenkter Strahlen.

Bewiesen wird diese Annahme durch die Tatsache, daß die β-Strahlen durch magnetische Einwirkung aus ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt werden. Dieser Versuch ist nach Becquerels Angabe einfach anzustellen. Denken wir uns ein in einer Bleikapsel eingeschlossenes Radiumpräparat auf die Schichtseite einer in lichtdichtes Papier eingewickelten photographischen Platte gelegt und darunter einen kräftigen Elektromagnet, durch den man das elektrische Feld erst in der einen, dann in der anderen Richtung wirken läßt, so werden die abgelenkten Strahlen die Platte treffen,

wie dies in Fig. 5 gezeichnet ist. Die Platte wird sich an den betreffenden Stellen schwärzen und das in Fig. 6 wiedergegebene Bild zeigen.

Der dunkle Punkt in der Mitte ist die Stelle, wo sich das Radiumpräparat befand; die dunkeln Streifen sind die Stellen, wo die abgelenkten Strahlen die photographische Platte trafen.

Diese stark ablenkbaren β-Strahlen führen negative elektrische Ladung. Dies läßt sich durch einfache Versuche anschaulich beweisen.

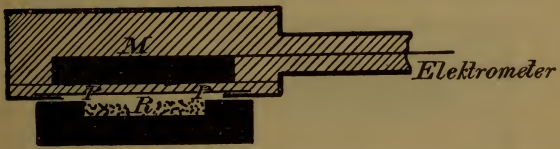


Fig. 7. Versuch I zur Ermittlung der elektr. Ladung eines Radiumpräparates.

Wir gehen dabei von der Überlegung aus, daß ein Körper, der Korpuskeln mit elektrischer Ladung absorbiert, selbst diese Ladung annimmt, und ferner, daß ein Körper, der eine Art der elektrischen Ladung abgibt, einen Überschuß an Ladung der andern Art behalten muß.

Die erste Versuchsanordnung ist in Fig. 7 wiedergegeben.

Das Radium R liegt wiederum in der Höhlung einer Bleikapsel. Die nicht absorbierbare α-Strahlung halten wir durch die Metallplatte P zurück, die β-Strahlung trifft die Metallplatte M, die mit einem Elektrometer in Verbindung steht. Die Leitung und M sind in einem Paraffinblock eingebettet und dieser ist überdies mit

einer Metallhülse umgeben, die geerdet wird. Es ist diese Isolation der Metallplatte M unbedingt erforderlich, denn sie würde ihre Ladung durch die in der Nähe des Radiums ohnehin stark ionisierte Luft rasch verlieren.

Die β-Strahlen treffen also M, geben dort ihre Ladung ab und diese wird das Elektrometer aufladen. Dort aber kann sie leicht identifiziert werden und wird sich negativ erweisen.

Die zweite Versuchsanordnung gestaltet sich in der Weise, daß man, wie Fig. 8 zeigt, das Radium an Stelle der Platte M setzt. Die β-Strahlen durchdringen die

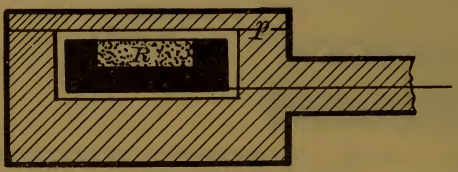


Fig. 8. Versuch II zur Ermittlung der elektr. Ladung eines Radiumpräparates.

dünne Isolationsschicht p und führen negative Elektrizität ab, das Radium R und mit ihm seine Bleihülse wird einen Überschuß an positiver Ladung erhalten und ihn am Elektrometer zu erkennen geben.

Der Überschuß an positiver Ladung wird ein in isolierter Hülle (etwa in einem zugeschmolzenen Glasröhrchen) aufbewahrtes Präparat auf ein hohes elektrisches Potential laden. Wird die Ladung zu stark, so wird sie, analog zu stark geladenen Leidener Flaschen, die Glashülle durchbohren. Es sind tatsächlich derartige Radiumexplosionen mehrfach beobachtet worden.

Die β-Strahlen sind keineswegs durchaus gleichgeartet. Werden schon einzelne Teile eines β-Strahlenbündels

durch den Magnet verschieden stark abgelenkt, so zeigt sich die Verschiedenheit noch mehr in dem Durchdringungsvermögen. Diejenigen Strahlen, die die stärkste Ablenkung erfahren, werden auch am stärksten von verschiedenen Medien, wie Glas, Metall usw., absorbiert, besitzen also das geringste Durchdringungsvermögen.

Was endlich die Geschwindigkeit betrifft, mit der die β-Teilchen emittieren, so sind genaue Messungen durch Becquerel und Kaufmann ausgeführt worden. Die mittlere Geschwindigkeit eines β-Teilchens wurde zu $1{,}6 \cdot 10^{10}$ cm pro Sekunde bestimmt. Diese Zahl übertrifft den Geschwindigkeitswert der Kathodenstrahlenteilchen bei weitem und hierdurch erklärt sich das hohe Durchdringungsvermögen der β-Strahlen. Für die durchdringendste Art ist sogar der Wert $2{,}83 \cdot 10^{10}$ cm pro Sekunde zuverlässig ermittelt worden, das ist annähernd (90%) die Lichtgeschwindigkeit.

Die α-Strahlen. Die α-Strahlen bilden den am wenigsten auffallenden, aber wichtigsten Teil der Becquerel-Strahlung. Sie machen stets die Hauptmenge der von der radioaktiven Substanz ausgesandten Energie aus. An Intensität übertreffen bei der elektrischen Meßmethode die α-Strahlen die Wirkungen der β- und γ-Strahlen bei weitem. Ihr Durchdringungsvermögen ist ein auffallend geringes. Dabei ist die Tatsache bemerkenswert, daß die α-Strahlen eine um so größere Absorption erfahren, je stärker die Schichtmaterie ist, die sie passieren.

Zur Bestimmung des Durchdringungsvermögens bediente sich Frau Curie des folgenden Apparates (Fig. 9).

In dem geerdeten Metallkasten *B-B-B* sind die Platten eines Kondensators *ZZ* und *Z'Z'* befestigt. *Z'Z'* trägt unter der Öffnung *D* eine dicke Metalldose *CCC*, in

welcher das α-Strahlen aussendende Präparat P liegt. Die Öffnung D ist verschlossen durch ein sehr dünnes Aluminiumblättchen. Die Entfernung PD ist veränderlich. Die Kondensatorplatten ZZ und $Z'Z'$ sind mit Batterie und Elektrometer in der Weise verbunden, wie es bei dem auf Seite 16 angegebenen Apparat beschrieben ist. Auch die Messung des zwischen den Kondensatorplatten

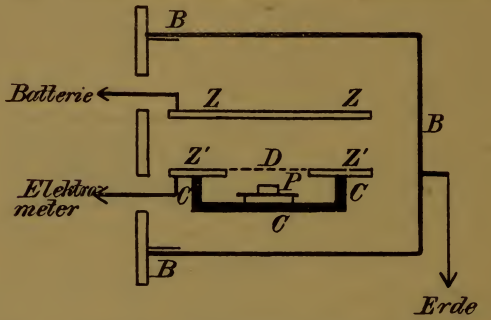


Fig. 9. Apparat zur Bestimmung des Durchdringungsvermögens der Strahlen.

auftretenden Stromes geschieht wie dort durch Ausgleichung mittels der entgegengesetzten Ladung des piezoelektrischen Quarzes.

Die Untersuchungen wurden von Frau Curie mit Polonium gemacht, das nur α-Strahlen aussendet. Sie gelangte zu dem Resultat, daß kein Strom zwischen den Kondensatorplatten entsteht, wenn die Entfernung PD 4 cm überschreitet. Das heißt mit anderen Worten: die α-Strahlen werden schon durch eine Luftschicht von 4 cm vollständig absorbiert.

Um nun auch die Absorption durch feste Materie zu bestimmen, wurde auf das Blättchen D ein gleiches ge-

legt. Es zeigte sich, daß dieses zweite Blättchen stärker absorbierend wirkt als das erste.

Dieser Umstand deutet mit ziemlicher Sicherheit darauf hin, daß man es bei den α-Strahlen, ebenso wie bei den β-Strahlen, mit Korpuskeln oder Elektronen zu tun habe. Rutherford unterzog mit Hilfe eines komplizierten sinnreichen Apparates, auf den aber hier einzugehen der Raum mangelt, die α-Strahlen einer Untersuchung auf ihre Ablenkbarkeit im elektrostatischen und elektromagnetischen Feld. Er fand, daß diese zwar sehr gering ist, ihr Vorhandensein aber immerhin ein Beweis für den korpuskularen Charakter dieser Strahlen bildet. Seine Versuche klärten aber auch über die Geschwindigkeit auf, mit der sich die α-Teilchen bewegen. Er konnte den Wert zu $2{,}5 \cdot 11^9$ cm pro Sekunde angeben, der in befriedigender Weise durch Versuche von Becquerel und Des Coudres, die auf andern Methoden beruhten, bestätigt wurde.

Des weiteren wurde festgestellt, daß die α-Teilchen positive elektrische Ladung mit sich führen.

Ihre Masse ist ungefähr doppelt so groß als die Masse des Wasserstoffatomes, ihre Geschwindigkeit nach dem oben Gesagten ungefähr der zehnte Teil der Lichtgeschwindigkeit.

Durchaus erklärlich erscheint damit im Vergleich mit den β-Strahlen ihr schwaches Durchdringungsvermögen, das abnimmt, wenn die Schichtdicke des materiellen Hindernisses vergrößert wird.

Daß diese Korpuskeln eine sehr bedeutende kinetische Energie besitzen müssen, erklärt sehr wohl die starke ionisierende Wirkung der α-Strahlen.

Crookes, sowie Elster und Geitel haben überdies einen weiteren und prächtigen Beweis für die atomistisch

materielle Natur der α-Strahlung entdeckt. Zinksulfid, sogenannte Sidot-Blende, zeigt unter der Einwirkung der α-Strahlen und unter der Lupe betrachtet ein ununterbrochenes Aufblitzen zahlloser Lichtpunkte, das den Anblick gewährt, als ob die Sidot-Blende von einem Bombardement mit kleinsten Projektilen getroffen würde. Dieses „Szintillieren" kann man besonders schön in dem von Crookes konstruierten „Spinthariskop" wahrnehmen. Es ist dies eine kleine Röhre, die einerseits durch ein Blättchen Sidotscher Blende, andererseits durch eine Lupe verschlossen ist. Vor dem Sidot-Schirm ist an einem beweglichen Zeiger ein Stückchen Radiumsalz befestigt, das die Szintillation hervorruft, die dann durch die Lupe leicht beobachtet werden kann.

Fassen wir noch einmal das über die drei Strahlentypen Gesagte kurz zusammen, so ergibt sich:

1. Die α-Strahlen sind positiv geladene Teilchen von atomistischer Dimension. Sie sind wenig ablenkbar und besitzen ein geringes Durchdringungsvermögen.
2. Die β-Strahlen sind negativ geladene Elektronen oder Korpuskeln, deren Masse einige tausendmal kleiner ist, als die des leichtesten materiellen Atoms. Sie werden durch das magnetische Feld in Bahnen mit hohem Krümmungsradius abgelenkt und besitzen ein überaus starkes Durchdringungsvermögen.
3. Die γ-Strahlen sind magnetisch unablenkbare, durch elektromagnetischen Stoß der β-Teilchen erregte Ätherwellen im Sinne der Röntgenstrahlen. Ihr Durchdringungsvermögen übertrifft das derselben und jenes der β-Strahlen.

IV. Die Wirkungen der Becquerel-Strahlen.

Fluoreszenzwirkungen. Schon lange kennt man eine Anzahl Stoffe, die, dem Einfluß des Sonnenlichtes ausgesetzt, im Dunkeln nachleuchten oder phosphoreszieren und diese Eigenschaft auch bei Bestrahlung durch Röntgenlicht dartun. Die Salze der Alkalien und alkalischen Erden gehören hierher, dann Zinksulfid und -Oxyd, ferner in besonderem Maße Bariumplatincyanür, endlich auch einige Mineralien, wie der Diamant, Flußspat, der Kunzit und der Willemit.

Die von den radioaktiven Stoffen ausgehende Strahlung bringt die gleiche Wirkung hervor, wie dies erstmalig vom Ehepaar Curie gezeigt wurde. Am geeignetsten erweisen sich, wie bei den Röntgenstrahlen, für die Demonstration Kartonschirme, die mit Bariumplatincyanür bestrichen sind. Starke Präparate rufen schon aus der Entfernung von zirka 2 Metern ein diffuses Licht hervor, das beim Annähern des Präparates an den Schirm stärker wird und schließlich in eine intensive Fluoreszenz übergeht. Dies bezeugt, daß alle Strahlentypen am Zustandekommen der Lichtwirkung teilnehmen, doch sind für verschiedene fluoreszierende Materien wiederum einzelne Strahlenarten stärker wirksam. So ist das Bariumplatincyanür für β-Strahlen sehr empfindlich, Zinksulfid (Sidot-Blende) fast nur für α-Strahlen.

Die Lichtwirkung tritt auch auf, wenn zwischen den Leuchtschirm und die Strahlenquelle Hindernisse, d. h. Strahlen absorbierende Körper, eingeschoben werden, und es darf an die schon früher erwähnte Proportionalität zwischen Durchdringungsvermögen der γ-Strahlen und der Dichte der eingeschobenen Materie erinnert werden,

die in deutlicher Weise auf dem Bariumplatincyanürschirm sichtbar wird.

Die Fluoreszenz radioaktiv bestrahlter Materie kann praktisch verwertet werden in der darauf begründeten „fluoreskopischen Untersuchungsmethode“ zur Erkennung radioaktiver Strahlung. Auch bietet sie ein Mittel, den Diamant von seinen Fälschungen aus Glas oder Straß zu unterscheiden, indem ersterer intensiv aufleuchtet, wenn er von Becquerel-Strahlen getroffen wird, während letztere dies gar nicht oder doch nur in sehr geringem Maße tun. Die von den Radium-Bariumverbindungen ausgehende Strahlung bewirkt ein „Selbstleuchten“ der Präparate, das bei den trockenen Halogenverbindungen so stark werden kann, daß man schon beim Lichte einer geringen Menge derselben im Dunkeln lesen kann. Diese Erscheinung beruht jedoch darauf, daß die Stickstoffteilchen der Luft in der Umgebung des Präparates ins Glühen geraten und dadurch sichtbar werden, wie man durch spektroskopische Untersuchung dieses Lichtes festgestellt hat. In stickstoffreier Atmosphäre freilich hält die Lumineszenz zwar an, zeigt aber dann ein kontinuierliches Spektrum ohne charakteristische Linien.

Das Licht ändert nach einiger Zeit seine Farbe, indem diese allmählich in ein schwaches Violett übergeht. Auch nimmt die Leuchtkraft beträchtlich ab. Löst man jedoch das Radiumsalz in Wasser auf und trocknet es dann wieder, so stellt sich das ursprüngliche Leuchtvermögen wieder ein.

Auch die Lösungen stark radioaktiver Salze leuchten schwach, ihre Beobachtung kann einwandfrei jedoch nur in Gefäßen geschehen, die selbst nicht fluoreszieren. Am geeignetsten erweisen sich Platinbehälter.

Die unter der Becquerel-Strahlung fluoreszierenden Substanzen erleiden fast durchweg eine allmähliche Veränderung.

Das Glimmerplättchen, das die das Radiumpräparat enthaltende Kapsel verschließt (vgl. Seite 26), färbt sich an der Stelle der Öffnung in *M* (Fig. 4) braun. Ebenso geht die Farbe des fluoreszierenden Glases in Braun oder Violett über, gleichzeitig läßt sich ein Abnehmen der Fluoreszenz konstatieren.

Wird ein solches Glas erhitzt, so strahlt es Licht aus (Thermolumineszenz) und entfärbt sich allmählich, indem es seine Fähigkeit zu fluoreszieren wiedererlangt.

Das Bariumplatincyanür nimmt bei längerem Gebrauche, ebenso wie ein von Giesel hergestelltes selbstleuchtendes radiumhaltiges Bariumplatincyanür, eine braune Farbe an, ebenfalls unter Verminderung der Fluoreszenzfähigkeit. Auch das Phosphoreszieren der Sidot-Blende verliert sich allmählich, selbst Sonnenlicht vermag keine Regeneration zu erzielen.

Bei allen diesen Lichterscheinungen hat sich aber als wesentlichste Bedingung für das Zustandekommen die absolute Trockenheit der Radiumpräparate als erforderlich gezeigt. In feuchter Luft verlieren jene rasch ihr Leuchtvermögen und erst ein intensives Trocknen vermag es ihnen wiederzugeben.

Wärmewirkungen. Die mit großer Energie erfolgende Fortbewegung der Strahlungskorpuskeln aus einem radioaktiven Präparate bewirkt bei der Hemmung der Bewegung im Präparat selbst und in der umgebenden Luftschicht eine Übertragung der Bewegung auf die Molekel der Masse oder der Luft. Diese schwingende Bewegung aber äußert sich für den menschlichen Gefühlsnerv in Form von Wärme.

Immerhin ist dieser Wärmeanzeiger noch zu unempfindlich, um jene Wärmeentwicklung erkennen zu lassen, die ein Radiumsalz zu erzeugen imstande ist. Dagegen konnte Giesel mit einem in geeigneter Weise angeordneten Thermometer nachweisen, daß ein sehr kräftiges Radiumpräparat gegenüber der Umgebung den beträchtlichen Temperaturunterschied von 5° C aufwies.

Um die Wärmemenge zu bestimmen, die ein Radiumsalz entwickelt, bedienen wir uns (nach dem Vorgang von Curie und Laborde) des Eiskalorimeters von Bunsen. In diesem Instrumente wird durch die Wärme einer bestimmten Menge eines Radiumpräparates Eis zum Schmelzen gebracht. Aus der Menge des geschmolzenen Eises und der Zeitdauer des Versuches berechnet sich die bei dem Vorgange abgegebene Wärmeenergie.

Eine andere, ebenfalls von Curie und Laborde angegebene Methode gibt an, das seiner Menge nach bekannte Radiumpräparat in einen Metallblock einzuschließen und nach gemessener Zeit zu bestimmen, um wie viele Temperaturgrade sich der Block erwärmt hat. Nach Entfernung des Radiumpräparates werden die ursprünglichen Temperaturverhältnisse des Metallblockes wiederhergestellt und an Stelle des Präparates eine elektrisch erwärmbare Drahtspirale eingeführt. Nun wird die Strommenge gemessen, die nötig ist, um denselben Temperaturunterschied hervorzurufen, wie ihn vorher das Radiumpräparat erzeugte. Es bedarf dann nur einer einfachen Umrechnung der Stromenergie in die ihr äquivalente Wärmemenge, um mit diesem Wert auch gleichzeitig die vom Radiumpräparat gelieferte Wärmemenge bestimmt zu haben.

Endlich möge einer dritten, sehr eleganten Methode zur Bestimmung der thermischen Energieentwicklung

des Radiums Erwähnung getan werden. Sie stammt von Curie und Dewar und beruht auf der Messung derjenigen Gasmenge, die durch ein bekanntes Radiumpräparat in bestimmter Zeit aus verflüssigtem Wasserstoff freigemacht wird.

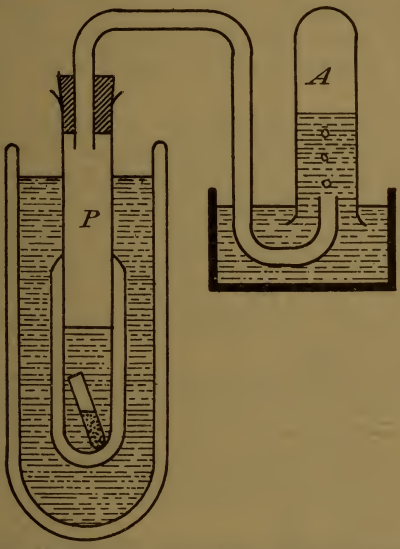


Fig. 10. Messung der radioaktiven Wärmeentwicklung.

Die Anordnung ist in Fig. 10 wiedergegeben. In einer mit Vakuummantel versehenen Probette *P* befindet sich flüssiger Wasserstoff (Temperatur = —252°). Durch den Kautschukstopfen führt ein Gasentbindungsrohr zu der in einer pneumatischen Wasserwanne stehenden Auffangröhre *A*. Die Probette ist, um die Temperatur konstant zu halten und eine Gasentwicklung aus dem

flüssigen Wasserstoff zu vermeiden, mit einem Bad von ebenfalls flüssigem Wasserstoff umgeben, der sich in einem Dewarschen Gefäß befindet. Bringt man nun in die Probette ein Röhrchen mit etwas Radiumsalz, so wird dieses seine Wärme an den umgebenden Wasserstoff abgeben, ihn vergasen und sich in der Vorlage ansammeln lassen. Auf diese Weise fanden die genannten Forscher, daß 0,7 g Radiumbromid in einer Minute 73 ccm Gas entwickelten.

Die nach den vorstehenden Versuchen ermittelten Wärmewerte führten zu dem Ergebnis, daß ein Gramm Radium pro Stunde etwa 80 kleine Kalorien Wärme entwickelt, d. h. ein Kilogramm Radium wäre imstande, in einer Stunde einen Liter Wasser von der Gefriertemperatur zum Sieden zu erhitzen. Diese Wärmeleistung übertrifft selbst die bei der kräftigsten chemischen Reaktion (Explosion des Knallgases) auftretende Wärmeenergie bei weitem.

Auf eine praktische Verwertung der Wärmeentwicklung der radioaktiven Substanzen ist nicht zu rechnen, dagegen ermöglicht uns diese Eigenschaft, wertvolle Schlüsse auf das bewohnbare Alter unseres Planeten sowohl, wie auf jenes der Sonne zu ziehen. Sie mögen hier kurz angedeutet sein:

Nach den Berechnungen der Physiker, die ein allmähliches Erkalten des Erdkörpers mangels innerer Wärmezufuhr annahmen, mußte sich derselbe vor etwa 10 Millionen Jahren noch in geschmolzenem Zustand befunden haben. Die Biologen und Geologen hatten auf Grund der Ergebnisse ihrer Forschung ein weit höheres Alter berechnet.

Ziehen wir jedoch in Betracht, daß aus dem Erdinnern auf eine beträchtliche und beständige Wärme-

zufuhr aus den radioaktiven Stoffen heraus zu rechnen ist, so kommt natürlich eine bedeutende Verzögerung der Abkühlung zustande und wir dürfen ganz im Sinne der Geologen unserem Planeten ein Alter von 100 000 Millionen Jahren zuschreiben.

Hatten die Physiker ferner ins Feld geführt, daß die kalorische Versorgung der Erde durch die Sonne nur etwa 20 Millionen Jahre währen könne, so wird auch dieses Argument hinfällig, wenn man bedenkt, daß die Sonne zweifelsohne eine beträchtliche Menge Radium aufweist und somit eine Wärmequelle enthält, deren Lebensdauer über die Zahlenwerte jeder Berechnung erhaben ist.

Chemische Wirkungen. Wir hatten schon früher (Seite 38 und Seite 39) gesehen, daß durch die Bestrahlung mit Becquerelstrahlen eine Farbänderung der Materie in vielen Fällen hervorgerufen werden kann. Es handelt sich hier um Änderungen der chemischen Modifikation der fraglichen Substanzen, die teilweise beim Erhitzen unter Auftreten von Thermolumineszenz wieder in die ursprüngliche Modifikation zurückgeführt werden kann.

Eine bessere Änderung der Modifikation läßt sich beim gelben Phosphor beobachten. Unter dem Einfluß der Radiumstrahlen verwandelt er sich in roten Phosphor. — Papier wird spröde und zerfällt allmählich. Doch ist es nicht unmöglich, daß es sich hier um einen sekundären Prozeß handelt. Es zeigt sich nämlich, daß Sauerstoff, der der direkten Berührung mit radioaktiver Substanz ausgesetzt ist, sich in Ozon umlagert und dieses die vorerwähnte zerstörende Wirkung auf das Papier ausübt.

Eine Lösung von Radiumbromid in Wasser vermag dieses in seine chemischen Komponenten, Wasserstoff und Sauerstoff, zu zerlegen.

Dieser Vorgang scheint unerschöpflich, und zwar entwickelt 1 g reines Bromradium in einem Tag etwa 10 ccm Knallgas (d. i. die Mischung von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas).

Auch feste Radiumsalze entwickeln fortwährend Gase, so das Bromid Brom, das Chlorid verschiedene Oxydationsprodukte des Chlors. Auch entwickeln sich noch andere Gase (Wasserstoff, Sauerstoff, Helium), doch bleiben diese in den festen Salzen eingeschlossen und werden erst beim Auflösen frei.

Photographische Wirkungen. Die Brom- oder Jodsilberschicht einer photographischen Platte wird bekanntlich durch Einwirkung des Lichtes in Silbersubbromid (...jodid) und Brom (bzw. Jod) zerlegt. Durch reduzierende Flüssigkeiten (Entwickler) werden die Subhaloide unter Austritt des Halogens in schwarzes Silber übergeführt, dort am stärksten, wo die Lichteinwirkung am kräftigsten war.

Die Strahlung radioaktiver Substanzen wirkt nun in vollkommen gleicher Weise auf die photographische Platte. Wir haben ja schon eingangs dargetan (Seite 13), daß die Entdeckung der Becquerelstrahlen auf diesen Umstand zurückzuführen ist.

Die Herstellung von Radiographien bildet ein einfaches und wichtiges Mittel zur Erkennung radioaktiver Substanzen.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, welche Gattung von Strahlen in den Bereich der Wirksamkeit tritt.

γ-Strahlen mit ihrem starken Durchdringungsvermögen eignen sich am besten zur Radiographie. Die β-Strahlen rufen leicht, namentlich beim Durchdringen abzubildender Materie, Verschleierungen hervor, und man tut gut, sie durch ein entsprechend starkes Magnetfeld

beiseite zu lenken. Bei Radiographien, die durch Präparate, welche nur α-Strahlen aussenden (Polonium), erzeugt werden sollen, ist daran zu denken, daß die α-Strahlen schon durch dünne Schichten Materie (etwa 1 mm Glas oder 4 cm Luft) absorbiert werden. Bei photographischer Identifikation derartiger Präparate sind diese also direkt auf die photographische Platte, oder doch nur durch eine sehr dünne Schicht Papier von ihr getrennt, zu bringen.

Es ist endlich eine Reihe anderer Umstände zu berücksichtigen, die auf der photographischen Platte Schwärzungen erzeugen, die nicht auf Strahlenwirkung zurückzuführen sind. Dahin gehören in erster Linie Druckwirkungen, die von der aufgelegten Substanz ausgeübt werden; dann chemische Einflüsse der letzteren auf die Platte. Man vermeidet sie, indem man zwischen Platte und Substanz ein dünnes Platt Papier legt. Ist der zu durchleuchtende Gegenstand Metall, so ist, namentlich bei längerer Expositionsdauer, darauf Rücksicht zu nehmen, daß Metalle selbst radiographisch wirken können (Moserstrahlen — Moserographie).

So wertvoll immerhin die Radiographie für Zwecke der Erkennung radioaktiver Substanzen sein mag, so wenig wird sie sich für praktische, namentlich für medizinische Zwecke neben der Röntgenphotographie behaupten können, da das stärkere Durchdringungsvermögen der γ-Strahlen eine viel geringere Differenzierung der Dichtigkeitsunterschiede gestattet, als dies bei den Röntgenstrahlen der Fall ist.

Mechanische Wirkungen. Als eine mechanische Arbeitsleistung der radioaktiven Stoffe haben wir in erster Linie das Fortschleudern korpuskularer Teilchen zu betrachten, eine Arbeit, die durchaus nicht unbeträchtlich

ist und die erhebliche Durchdringungskraft der β-Strahlen zur Folge hat.

Die α-Strahlenteilchen, die vermöge ihrer Größe (vgl. das auf Seite 35 Gesagte) nicht in der Lage sind, Materie von nur einiger Dichte und Dicke zu durchdringen, können, allerdings indirekt, zu einer sehr bedeutenden mechanischen Arbeitsleistung Veranlassung geben.

Man nehme ein Radiumsalz in einem allseitig zugeschmolzenen Glasröhrchen an. Die negativ geladenen β-Teilchen werden, vermöge ihrer hohen kinetischen Energie sowohl, wie auch wegen ihrer Kleinheit, die Wandungen der Glasröhre durchdringen. Den positiv geladenen α-Teilchen ist dies nicht möglich. Es wird sich daher im Innern der Röhre ein beträchtlicher Überschuß an positiver Ladung ansammeln, die in dem Bestreben, nach außen hin einen Ausgleich zu erzielen, einen beträchtlichen elektrostatischen Druck auf die Innenwandung des Röhrchens ausübt, der schließlich so stark anwächst, daß das Glas an dünneren, etwa angeritzten Stellen durchbohrt werden wird. Es ist dies ein schon mehrfach beobachteter Fall.

Ein anderes Instrument, das dazu dient, die mechanische Arbeitsleistung eines Radiumpräparats vor Augen zu führen, ist das von Strutt konstruierte Perpetuum mobile. Es beruht auch wiederum auf der Verwendung der elektrischen Ladung der Becquerelstrahlen.

Man legt das Radiumsalz auf den Zerstreuungskörper eines Exnerschen Elektroskopes (Seite 11). Die Aluminiumblättchen werden die Ladung der β-Strahlen aufnehmen, das Elektroskop wird sich aufladen und die Blättchen immer mehr divergieren lassen, bis sie die geerdeten Wandungen des Elektroskopes berühren. Dort

geben sie ihre Ladung ab und fallen zusammen, worauf sich der Vorgang von neuem wiederholt.

Praktische Verwendung finden die mechanischen Wirkungen der radioaktiven Salze nicht.

Elektrische Wirkungen. Diese bilden das wichtigste Kapitel in den Wirkungen der Becquerelstrahlen.

Die von den radioaktiven Stoffen ausgehenden Strahlen vermögen sowohl Gase, wie auch Flüssigkeiten zu ionisieren und sie dadurch zu Leitern der Elektrizität zu machen.

Luft, die vor allen äußeren Einflüssen geschützt ist, ist wahrscheinlich ein absoluter Nichtleiter der Elektrizität. Wird nun solche Luft von Becquerelstrahlen getroffen, so wird die der Strahlung innewohnende Energie dazu verwandt, die Molekel der Luft in Ionen zu spalten, und diese werden wie die Ionen in einem Elektrolyten zu wandern beginnen und Transporteure der Elektrizität bilden. Die Becquerelstrahlen teilen also diese Eigenschaft mit den Röntgenstrahlen, wie wir auf Seite 8 gesehen haben. Aber auch den Kathodenstrahlen und sogar dem ultravioletten Licht kommt diese Eigenschaft zu.

Umgekehrt wird ein elektrisch aufgeladener isolierter Körper, etwa ein Elektroskop, seine Ladung beibehalten, solange die ihn umgebende Luft sich in normalem, d. h. nicht ionisiertem, nicht leitendem Zustand befindet.

Sowie aber die Luft in seiner Umgebung von einem der genannten Strahlentypen getroffen wird, tritt eine Ionisation ein und die aufgespeicherte elektrische Ladung des Elektroskopes neutralisiert sich an irgendwelchen geerdeten Leitern. Die gespreizten Blättchen des Elektroskopes werden also zusammenfallen.

Bei dem Ausgleich einer Ladung durch ein ionisiertes Gas ist aber ein besonderer Umstand zu berücksichtigen.

Eine bestimmte Menge eines Gases vermag nur eine bestimmte Menge Elektrizität zu transportieren. Die Elektrizitätsmenge, die von einem Gase maximal transportiert werden kann, heißt der „Sättigungsstrom".

Erhöht man die Spannung, so wächst zunächst auch die transportierte Strommenge, bis der Sättigungsstrom erreicht ist; eine weitere Zunahme der Spannung vermag keine weitere Steigerung der Strommenge zu erzielen.

Bleibt ein Strom schwächer als der Sättigungsstrom, so werden nicht alle Ionen zur ableitenden Elektrode geführt, es wird sich ein Teil derselben miteinander vereinigen, unter Ausgleich der Ladung und Bildung eines neuen neutralen Molekels.

Die Anzahl der infolge der radioaktiven Bestrahlung gebildeten Ionen ist proportional der Leitfähigkeit der ionisierten Luft. Darauf gründet sich die elektrische Methode zur Messung der Radioaktivität. Um aber in allen Fällen vergleichbare Werte zu erhalten, muß die dem Meßinstrument erteilte elektrische Spannung mindestens so hoch gewählt werden, daß der zu messende Strom ein Sättigungsstrom ist, d. h. es müssen durch ihn stets ebenso viele Ionen ausgeschieden werden, als infolge der Strahlung fortwährend neu entstehen.

Von den Apparaten, die zur elektrischen Messung der Radioaktivität dienen, haben wir auf Seite 16 schon denjenigen kennen gelernt, den Curie anwandte, um vergleichende Messungen auszuführen.

Weit einfacher und ohne sonderliche Schwierigkeiten sind die Messungen mit Hilfe des Elektroskopes auszuführen, das wir schon auf Seite 11 beschrieben haben.

Die erste Anwendung desselben wurde von C. T. R. Wilson gemacht und später von Elster und Geitel verbessert.

In dieser Form gestaltet sich der Apparat, wie in Fig. 11 wiedergegeben. Auf einen ebenen Metallteller T, der durch Stellschrauben in horizontale Lage gebracht werden kann, wird mit Hilfe einer Düse ein Exnersches Elektroskop E gestellt, das einen zylindrischen Zerstreuungskörper Z trägt. Um diese Düse liegt auf dem Teller die ringförmige, mit etwa fingerhohem Rand versehene Schale S, die als Behälter für die zu prüfende Substanz dient. Über das Elektroskop wird nun die mit abgeschliffenem Rand versehene metallene Glocke G gestülpt. Durch diese ist von oben durch eine isolierende Hartgummidüse der mit isoliertem Handgriff versehene Metallstift D geführt, der es ermöglicht, dem Elektroskop eine elektrische Ladung zu erteilen, indem man ihn durch Drehung mit dem Zerstreuungskörper Z in Berührung bringt, dann mittels eines geriebenen Ebonitstabes außerhalb der Glocke durch den Stift in das Elektroskop Ladung schickt und, nachdem sich dessen Blättchen gespreizt, den Stift D durch Drehung am isolierten Griff vom Zerstreuungskörper entfernt. Die Glocke G besitzt ferner zwei einander gegenüberstehende Fenster F; durch das eine beobachtet man das Elektroskop, während das andere, dahinterstehende die nötige Beleuchtung liefert.

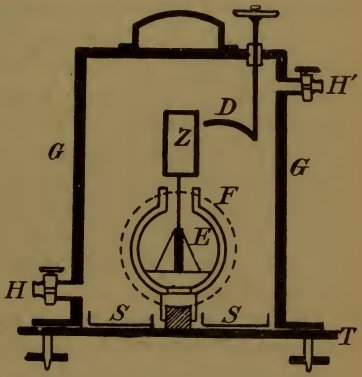


Fig. 11. Elster & Geitelsche Glocke.

Die Hähne H und H' dienen dazu, radioaktive Gase durch die Glocke zu leiten, wenn es sich um deren Untersuchung handelt.

Bei Messung der Radioaktivität irgend einer Substanz führt man zunächst eine blinde Messung aus, d. h. man beobachtet die Anzahl der Skalenteile, um welche die durch erteilte Ladung gespreizten Elektroskopblättchen in einer entsprechenden Zeit zusammenfallen, ohne die zu prüfende Substanz im Apparat gehabt zu haben.

Dann gibt man diese in die Schale S und führt nun die Beobachtung in gleicher Weise durch. Da nun jedem Elektroskop eine Tabelle beigegeben ist, welche die abgelesenen Skalenteile in Volt überträgt, so braucht man nur, unter Berücksichtigung der Beobachtungszeit, das Ergebnis des blinden Versuches, des sogenannten „Normalverlustes" vom Hauptversuch zu subtrahieren, um damit die Leitfähigkeit zu erhalten, die der Luft in der Glocke durch die radioaktive Äußerung der Substanz erteilt wurde.

Eine weit elegantere und handlichere Anordnung des Apparates stammt von Engler und Sieveking und ist in Fig. 12 wiedergegeben.

Der metallene Teller T ruht auf einem hölzernen Dreifuß H und ist von einem mit Reibung beweglichen Stifte M durchbohrt, der eine Messingplatte trägt, die mit einer kleinen Glasschale als Substanzbehälter beladen werden kann.

Über dieses System stülpt man die Glocke G, die hier aus leichtem Messingblech gefertigt ist und in einen konischen, mit ringförmiger Öffnung versehenen Hals endet. Auf diesem sitzt abnehmbar ein Elektroskopträger. Das Elektroskop besitzt, dem Exnerschen Instrumente gegenüber, die Abänderung, daß das iso-

lierende Bernsteinstück im oberen Teil der Dose befestigt ist und die Mittelbacke sowohl wie der Träger für den Zerstreuungskörper nach unten geht. Durch die Öffnung im untern Teil des Elektroskopes tritt der Träger heraus und hält, durch Bajonettverschluß verbunden, den Zerstreuungskörper *Z*, der hier ebenfalls die Form einer Messingplatte hat. Berühren sich *Z* und die auf *M* ruhende Messingplatte, so zeigt der an *M* befestigte Zeiger den Nullpunkt der in Zentimeter eingeteilten Skala *S*.

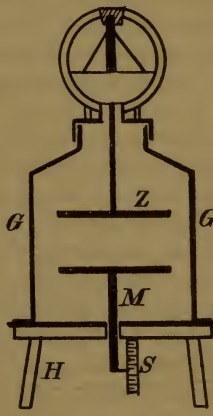


Fig. 12.
Apparat zur Messung der Radioaktivität von Engler & Sieveking.

Die Möglichkeit, die Entfernung zwischen Substanz und Zerstreuungskörper beliebig zu verändern, gestattet, einen Unterschied zwischen den verschiedenen von der Substanz ausgehenden Strahlen zu machen. Zeigt nämlich das Elektroskop bei einer Entfernung von weniger als 4 cm zwischen oberer Platte und Substanz einen merklichen Potentialabfall, bei größerer Entfernung jedoch nicht, so handelt es sich nach dem auf S. 34 Gesagten um ein Material, das nur α-Strahlen aussendet.

Die Ladung des Elektroskopes erfolgt durch Berühren des bei *F* zugänglichen Zerstreuungskörpers mit einem durch Reibung elektrisch gemachten Hartgummi- oder Ebonitstab.

Auch bei diesem Instrument ist es nötig, den „Normalverlust“ vor der eigentlichen Messung zu bestimmen.

Bei allen diesen Messungen hat man natürlich sorgfältig auf die möglichen Fehlerquellen zu achten, die am häufigsten in ungenügender Isolation des Elektroskopes oder noch mehr in der Anwesenheit radioaktiver Stoffe im Beobachtungslokal zu suchen sind.

Die luftionisierende Wirkung der Strahlung radioaktiver Substanzen kann eine praktische Anwendung finden, um die Funkenstrecke eines Rhumkorffschen Apparates zu vergrößern. Diese Erscheinung rührt von den durchdringendsten Strahlen her.

Auch auf flüssige Dielektrika wirken die Becquerelstrahlen ionisierend ein und erteilen ihnen dadurch elektrische Leitfähigkeit. Auch hierin zeigt sich eine Analogie mit den Röntgenstrahlen.

Physiologische Wirkungen. Hält man ein strahlendes Radiumpräparat im Dunkeln in die Nähe des Auges oder an den Hinterkopf, so hat man die Empfindung, als ob sich das Auge mit Helligkeit erfülle. Diese Wirkung, die auf dem Umstande beruht, daß alle Medien des Auges fluoreszierend werden, hat zu dem Irrtum Anlaß gegeben, es wäre möglich, Blinden das Augenlicht wiederzugeben. Davon kann natürlich keine Rede sein. Es werden nur in Fällen, in denen die Netzhaut unversehrt ist, bei Annäherung eines genügend kräftigen Radiumpräparates Helligkeitsempfindungen im Auge auftreten.

Wie wir schon bei Betrachtung der chemischen Wirkungen gesehen haben, sind die organischen Verbindungen unter dem Einfluß der Becquerelstrahlen einer Zerstörung unterworfen. Ähnlich wie Papier werden, nach Giesel, Pflanzenblätter gelb und zerfallend, wenn sie der radioaktiven Strahlung ausgesetzt sind. Auch die Keimfähigkeit von Samen wird unter der Einwirkung der Strahlen gehemmt oder geht gänzlich verloren.

Auf die Haut wirken Radiumpräparate ebenfalls zerstörend ein. Legt man ein Präparat auf dieselbe, so rötet sie sich zunächst wie bei einer Brandwunde; allmählich schreitet die Zerstörung der Epidermis fort, es bilden sich kleine offene Wunden und schließlich ein Geschwür, das schwer heilbar ist und eine Narbe hinterläßt.

Die Radiumstrahlen wirken also wie die Röntgenstrahlen, nur in viel kürzerer Zeit. Die Zerstörung der Haut beruht auf der Zersetzung des Lecithins, jenes Stoffes, der die Bildungsbedingung für Haut und Haare bildet.

Beim Herumtragen von Radiumpräparaten ist es daher angebracht, sie in einer Bleihülse zu verschließen, die die durchdringende Strahlung wirksam abschwächt.

Die zerstörende Wirkung der Becquerelstrahlung wird erfolgreich zur Heilung von Geschwüren verwandt, da jene lecithinreich sind. Die Behandlung hat den Vorteil der Schmerzlosigkeit und den nur geringer Narbenbildung, ist aber andererseits langwieriger als operative Entfernung. Die Zerstörung von Bakterien findet durch Becquerelstrahlen in gleicher Weise statt, wie durch Röntgenstrahlen und ultraviolettes Licht, solange jene im Bereich der α-Strahlen liegen. Weniger wirksam erweisen sich die β-Strahlen, doch haben sie den Vorzug, tiefer in den Organismus eindringen zu können, als es den Lichtstrahlen möglich ist.

Alle diese Eigenschaften haben der praktischen therapeutischen Radiologie ein weites Feld eröffnet, die durch die einfachen Methoden der Anwendung in vielen Fällen den Vorzug vor der Licht- und Röntgenstrahlenbehandlung verdient.

Dennoch ist die peinlichste Vorsicht nicht aus dem Auge zu lassen, zumal durch die Becquerelstrahlung

schwere Schädigung des Nervensystems herbeigeführt werden kann, die, wie Versuche an Tieren lehrten, Lähmungen und sogar den Tod zur Folge hat.

II. Abschnitt.

Die Umwandlungsprodukte der radioaktiven Stoffe.

Wir haben uns in den vorhergegangenen Kapiteln mit den radioaktiven Stoffen im allgemeinen beschäftigt und im besondern ihre Eigenschaft, verschiedenartige Strahlen auszusenden, betrachtet.

Auf den folgenden Seiten werden wir sehen, daß außer jenen Strahlen die radioaktiven Stoffe noch andere Materien äußern, die in fortwährender Umwandlung zu einem schon länger bekannten Elemente — dem Helium — führen.

Mit der Erkenntnis und Erforschung dieser Tatsache haben wir einen der bedeutendsten Schritte zu betrachten, der der wissenschaftlichen Forschung jemals gelungen ist. Der Begriff des Elementes als unteilbarer, unwandelbarer Urstoff ist schwankend geworden und der Stein der Weisen — einen Stoff in einen andern, unedles Metall in edles zu wandeln — cum grano salis gesprochen — gefunden worden.

Uran X und Thor X.

Fällt man ein Uransalz mit Ammoniumkarbonat und fügt von diesem Reagens so viel hinzu, daß der entstandene Urankarbonatniederschlag sich wieder darin löst, und filtriert man dann diese Lösung, so bleiben auf

dem Filter uranfreie Verunreinigungen des ursprünglichen Uransalzes zurück. Dieser geringe Rest zeigt nun auffallenderweise die gesamte dem Ausgangsmaterial eigentümliche Radioaktivität, während das aus der Lösung wieder ausscheidbare Uran zunächst vollkommen inaktiv geworden scheint.

Nähere Untersuchung ergibt, daß der geringe Rückstand auf dem Filter nur β-Strahlen aussendet, während das in Lösung gegangene Uran nur mehr α-Strahlen emittiert. Der Beweis kann sowohl durch die Strahlenabsorptionsmethode mittels eines sehr dünnen Aluminiumbleches geführt werden, das die Strahlung des Rückstandes passieren läßt, die des gebliebenen Urans aber aufnimmt, als auch durch Untersuchung der Strahlen im magnetischen Feld (vgl. Seite 28).

Die chemische Behandlung des Uransalzes, die übrigens auch noch in anderer als der angegebenen Weise zum gleichen Ziele führt, hat also die komplexe Strahlung des Urans in zwei Komponenten, α-Strahlen einerseits, β-Strahlen andererseits, zerlegt.

Crookes, der zuerst diese Beobachtung machte, glaubte ursprünglich einen neuen radioaktiven Stoff abgeschieden zu haben und gab dem β-Strahlen aussendenden den Teil-Namen: Uran X.

Gleichzeitig mit der Entdeckung der vorstehenden Tatsachen wurden von Rutherford und Soddy ähnliche Versuche mit Thor angestellt, die einen Teil ergaben, der alle β-Strahlen, sowie etwa 75% α-Strahlen emittierte, während ein anderer Teil keine β-Strahlen, aber 25% der α-Strahlen aussandte. Die beiden Forscher gaben dem ersten der genannten Teile in Anlehnung an Crookes' Uran X den Namen: Thor X.

Sie betrachten dasselbe als eine besondere Art Materie,

da es durch eine chemische Operation aus dem ursprünglichen Thor abscheidbar ist.

In analoger Weise ist das Uran X aufzufassen.

Sämtliche Operationsprodukte der genannten Vorgänge — Uran und Uran X, Thor und Thor X — treten mit dem Augenblick ihres Entstehens in einen Prozeß der Radioaktivitätsregeneration ein, der sich für die beiden Stoffpaare lediglich durch die Zeitdauer unterscheidet und für das Thor schneller verläuft als für das Uran. Dieser Prozeß besteht darin, daß Uran X sowohl wie Thor X mit der Zeit das Vermögen verlieren, β-Strahlen auszusenden; das letztere hört dabei auch auf, Strahlen abzugeben.

Das nach der chemischen Trennung jedoch gebliebene Uran, wie auch das Thor erlangen alsbald ihre volle Aktivität wieder und äußern ihre Strahlung wie vor dem chemischen Prozesse.

Führt man nun mit derartigem „regeneriert aktiven“ [1]) Uran oder Thor dieselben chemischen Prozesse durch wie vorher, so erhält man in gleicher Weise Uran X bzw. Thor X und zwar von derselben Radioaktivität, wie im ersten Trennungsverfahren. — Diese Operationen können beliebig oft wiederholt werden, doch gelingt es beim Thor nicht, die Radioaktivität unter einen Minimalwert herabzudrücken. Wenn dieser erreicht ist, liefert das Thor zunächst kein Thor X mehr; wartet man jedoch längere Zeit, so stellt sich die Fähigkeit, Thor X abscheiden zu lassen, wieder ein, und zwar zeigt dieses dann eine Aktivität, die um so größer ist, je länger man mit der Abscheidungsoperation gewartet hat.

---

[1]) Dieser Ausdruck soll keineswegs eine allgemein gültige oder streng wissenschaftliche Bezeichnung sein, nur ausnahmsweise sei er hier in näher bezeichnender Weise gebraucht.

Endlich sei hier eingefügt, daß es in jüngster Zeit gelungen ist, auch aus dem Aktinium ein analoges Produkt, das Aktinium X, abzuscheiden.

Diese Umstände zwingen uns zu der Annahme, daß ein Element — der Beweis ist vorläufig für Thor, Uran und Aktinium erbracht — sich langsam in eine andere Art Materie von spezifischen Eigenschaften verwandeln kann.

Wir haben im vorstehenden den ersten Fall „radioaktiver Umwandlung“ kennen gelernt und in Thor X und Uran X die ersten Produkte der „Desaggregation“ betrachtet.

Emanation.

Ehe wir uns nun dem Radium zuwenden, um zu sehen, in welchem Maße es einer radioaktiven Umwandlung fähig ist, müssen wir noch ein weiteres Produkt kennen lernen, das dem Thor entstammt.

Wir gehen dabei von dem Versuch aus, durch welchen Rutherford dieses Produkt zuerst erkannte.

Dieser Gelehrte fand, daß die Luft, die sich in einem geschlossenen Gefäße über Thorpräparaten befand, ein Maximum der Ionisation erreichte. Saugte man dann mittels einer Pumpe frische Luft durch das Gefäß, so sank die Ionisation jener sofort auf einen Minimalbetrag. Die Wirkung war dabei, je nach der Schichtdicke des Thorpräparates, verschieden. Gestützt auf diese Tatsachen gelangte Rutherford zu der Erkenntnis, daß die Luft in der Umgebung von Thorpräparaten selbst Strahlungen aussendet, eine Fähigkeit, die auch noch eine gewisse Zeit andauert, nachdem man das Thorpräparat entfernt hat. Er führte diese Tatsache darauf zurück, daß die Thorpräparate vorübergehend radioaktive Teilchen in die Luft entsenden, und er gab der Gesamtheit

dieser Teilchen den Namen: „Emanation“. Die Emanation des Thors geht durch eine Schicht Papierblätter hindurch, die zwanzigmal dicker ist, als jene Schicht, die hinreichen würde, sämtliche Strahlen des Thors zu absorbieren. Diese Emanation kann hinweggeblasen werden. Ein anschaulicher Versuch bestätigt das. Legt man auf die untere Platte eines Plattenkondensators ein Thorsalz, so wird sich zwischen den beiden Platten des Instrumentes ein Ionisierungsstrom von bestimmter Stärke erkennen lassen. Bläst man nun die Luft durch den Raum zwischen den beiden Platten hindurch, so sinkt dieser Strom auf einen minimalen Wert herab. Es wirkt dann eben nur noch die Strahlung des Thorpräparates, nicht mehr jene der weggeblasenen Emanation.

Die Emanation verhält sich wie ein Gas, in welcher Weise man auch Versuche mit ihr anstellen wird.

Die Emanation des Thors entsteht nicht direkt aus dem Thor selbst, denn Thor, von welchem bereits Thor X abgeschieden ist, zeigt kein Emanationsvermögen. Dagegen wird von dem Thor X gerade so viel Emanation produziert, wie von dem ursprünglichen Thor. Andererseits verliert das Thor X sein Emanationsvermögen in demselben Maße, in dem dieses vom Thor wiedergewonnen wird.

Wir sind also zu der Annahme genötigt, daß die Emanation des Thors ein Verwandlungsprodukt des Thor X ist.

Daß sich die Emanation freiwillig von seiner Muttersubstanz trennt und es nicht, wie beim Thor X aus dem Thor, eines chemischen Trennungseingriffes bedarf, ist klar verständlich, wenn man bedenkt, daß die Emanation eben ein gasförmiges Produkt ist.

Ehe wir uns nun eingehender mit den Eigenschaften der Emanation beschäftigen, wollen wir zunächst die Entstehung von Emanationen aus dem Radium und Aktinium beschreiben, um dann deren Eigenschaften neben jenen des Thors vergleichend zu betrachten.

Die Radiumemanation. Das Radium sendet außer seiner komplexen Strahlung eine gasförmige Emanation aus, die in chemischer wie in physikalischer Hinsicht mit der vom Thor entwickelten Emanation übereinstimmt.

Die Emanation des Radiums ist zuerst von Dorn entdeckt worden in einem aus Pechblende gewonnenen Radiumpräparat.

Die Radiumemanation scheint das erste Verwandlungsprodukt des Radiums zu sein.

Die Aktiniumemanation. Diese schließt sich der Emanation des Thors insofern an, als sie ebenfalls das sekundäre Desaggregationsprodukt des Aktiniums ist.

Eigenschaften der Emanationen.

Wir haben weiter oben bemerkt, daß die Emanation alle Eigenschaften eines Gases besitzt. Betrachten wir diese nun im einzelnen:

Verdichtbarkeit. Die Radiumemanation ist bei sehr tiefer Temperatur verdichtbar; die Versuchsanordnung ist in Fig. 13 wiedergegeben.

Die zu dem Versuche nötige Menge Emanation erhält man am vorteilhaftesten, indem man einige Milligramme reines Radiumbromid in Wasser löst und sie durch einen durch die Lösung geleiteten Strom trockener Luft austreiben läßt. Die Emanation treibt man auf diese Weise in die Glasspirale *A*, die man in ein Bad von flüssiger Luft taucht; dort verdichtet sich die Emanation zusammen mit der treibenden trockenen Luft. Schließt man

den Hahn H_1 und entfernt man das Verdichtungsbad, um sodann Luft durch den ganzen Apparat im Sinne der Pfeile zu schicken, so tritt die Emanation in den

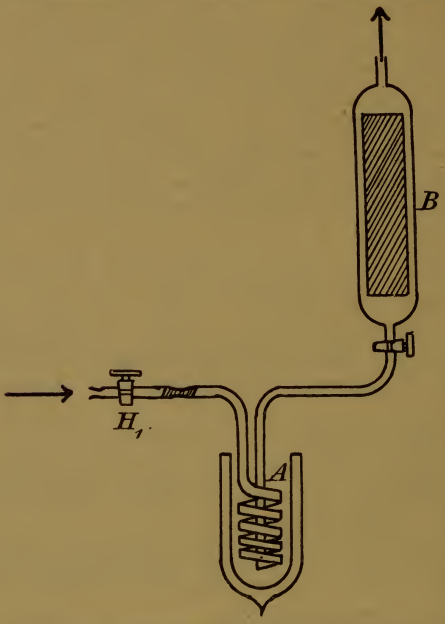


Fig. 13. Apparat, um die Verdichtung der Emanation zu zeigen.

Zylinder *B*, der einen mit Sidotscher Blende bestreuten Schirm enthält, und bringt diesen zu lebhafter Fluoreszenz.

Genaue Versuche über die Kondensationstemperaturen der verschiedenen Emanationen wurden von Rutherford und Soddy mit komplizierten Apparaten angestellt. Sie fanden die Verdichtungstemperatur der

Thoremanation zu 120° C, die der Radiumemanation zu 150° C unter dem Nullpunkt.

Verbindungsfähigkeit. Man hat Versuche angestellt, die Radiumemanation in Verbindung mit anderen Elementen zu bringen, indem man sie über zur Rotglut erhitztes Magnesium führte; doch führte dieser Versuch ebensowenig zu einem Resultat, wie Absorptionsversuche durch rotglühendes Bleichromat oder Zinkstaub; auch gegenüber der Wirkung von glühendem Platin und der des elektrischen Funkens verhielt sich die Emanation inaktiv. Diese Eigenschaften sind für Radium- und Thoremanation gemeinsam und reihen die Emanationen, falls man sie als selbständige, wenn auch, wie wir noch sehen werden, unbeständige Elemente ansieht — und es liegt kein sonderlicher Grund vor, dies nicht zu tun —, in die Gruppe der Edelgase Argon, Neon, Krypton, Helium, Xenon ein.

Gasgesetze. Die Emanationen befolgen alle Gesetze, die wir für Gase kennen. Die direkte Proportionalität zwischen Druck, Volumen und Temperatur eines Gases (Gay-Lussacsches Gesetz) gilt auch für die Emanationen.

Ebenso folgen sie dem Gesetz der Expansion, wonach ein Gas jeden Raum vollständig ausfüllt. Der experimentelle Beweis wird leicht erbracht, wenn man Emanation von einem Gefäß in ein anderes von doppeltem Volumen treten läßt; das erste Gefäß wird dann nur noch $^1/_3$, das zweite $^2/_3$ der ursprünglichen Emanationsmenge enthalten.

Verbindet man ein Gefäß, das Emanation enthält, mit der Außenluft durch ein sehr enges Glasröhrchen, so tritt eine Diffusion ein, die um so rascher vor sich geht, je kürzer und weiter das Verbindungsröhrchen ist. Die

Emanation befolgt also auch hierin ein allgemein gültiges Gasgesetz.

Aus dem diesermaßen gefundenen Diffusionskoeffizienten (0,08) berechnet sich die Dichte der Emanation zu 80 (bezogen auf Wasserstoff = 1).

Nach dem Obenerwähnten ist das Emanationsmolekel einatomig anzunehmen wegen der Zugehörigkeit der Emanationen zur Edelgasgruppe. Aus diesem Umstand und dem Wert für die Dichte berechnet sich der Wert für das Atomgewicht der Emanation zu 160.

Diese Eigenschaften sprechen deutlich dafür, die Emanation als ein materielles Gas zu erklären.

Die radioaktiven Eigenschaften der Emanation. Nachdem wir auf Seite 57 die Thoremanation als die Gesamtheit der von Thor X in die Luft entsandten radioaktiven Teilchen bezeichneten und hinzufügten, daß wir auch die Radiumemanation als vom Radium ausströmende aktive Teilchen betrachten, müssen wir uns fragen, welcher Art von Strahlung die Emanationsteilchen ihre Radioaktivität verdanken. Wir wollen wiederum experimentell antworten.

Wir schließen Radiumemanation in ein Gefäß ein, dessen Wandungen stark genug sind, um ein Durchlassen der α-Strahlen zu verhindern, während sie die β-Strahlen noch passieren lassen.

Von den äußeren Wandungen des Gefäßes geht nun zunächst keine Strahlung aus, erst nach einiger Zeit machen sich β-Strahlen bemerkbar, deren Intensität, rasch anwachsend, nach einigen Stunden einen Maximalwert erreicht. Entfernt man nun durch Ausblasen die Emanation aus dem Gefäß, so hört die äußere β-Strahlung nicht sofort auf, sondern wird nach und nach schwächer, sie sinkt in 30 Minuten auf die Hälfte ihres Maximalbetrages und nach einigen Stunden ist der Nullwert erreicht.

Dieser Versuch zeigt uns zwei wichtige Tatsachen: einmal, daß die Emanation nur α-Strahlen besitzt, dann aber, daß aus ihr ein β-Strahlen emittierendes neues, aber nur kurze Zeit beständiges Verwandlungsprodukt entstanden sein muß, denn dieses bleibt ja noch einige Zeit nach Entfernung der Emanation bestehen.

Den schon beschriebenen Versuchen, die auf der Wirkung der Strahlen der Emanation beruhen — Ionisation der Luft und Fluoreszenz der Sidot-Blenden —, können wir noch anfügen, daß es leicht gelingt, eine Schwärzung der photographischen Platte durch darüberstreichende Emanation herbeizuführen.

Für die Thoremanation ist der Beweis, daß sie nur α-Strahlung aussendet (die eventuelle β-Strahlung ist so gering, daß sie aus dem Bereich der Beobachtung und Wirksamkeit fällt), mit ähnlicher Versuchsanordnung durchgeführt worden.

Rutherford hat gezeigt, daß die Emanationen von Thor und Radium durch ein elektrisches Feld nicht abgelenkt werden, und schloß daraus, daß die Emanationsteilchen selbst keine elektrische Ladung führen, denn sie müßten ja sonst dem Pole entgegengesetzten Vorzeichens zugeführt werden.

Doch ist aus diesem Versuche nicht zu ersehen, ob etwa ein Emanationsteilchen bei seinem Austritt aus dem Erzeugungsatom irgend eine Ladung besitzt und diese alsbald wieder — wie etwa ein Ion — verliert.

Es sprechen nicht näher zu erörternde theoretische Gründe sehr dafür, anzunehmen, daß das Emanationsatom ursprüngliche elektrische Ladung besitzt, aber es wäre geradezu merkwürdig, wenn das Atom die Ladung während seiner Bestandsdauer — das sind, wie wir noch sehen werden, mehr als 5 Tage — behalten könnte.

Anders und für die Beobachtung besser geeignet, als bei Thor- und Radiumemanation, liegen die Verhältnisse bei der Emanation des Aktiniums.

Diese besitzt bis zu ihrem Zerfall eine Lebensdauer von nur 5,7 Sekunden. Giesel stellte mit seiner „Emanationssubstanz", die mit dem von Debierne gefundenen Aktinium höchst wahrscheinlich identisch ist (wie wir schon auf früheren Seiten erwähnten), folgenden interessanten Versuch an:

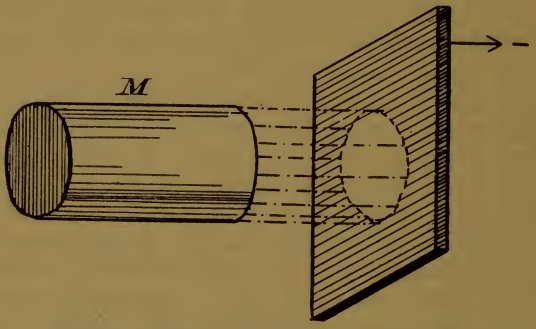


Fig. 14. Sichtbarmachung der positiv geladenen Emanation.

Die aktive Substanz liegt in einem Metallzylinder *M* (Fig. 14), dessen kreisrunde Öffnung einem Sidot-Blendeschirm zugekehrt ist, der mittels einer Influenzmaschine negativ geladen wird.

Auf dem Schirm erscheint dann ein phosphoreszierendes Bild der Zylinderöffnung.

Die Emanation wird also von dem negativ geladenen Schirm angezogen. Ihre Teilchen müssen also positive Ladung führen.

Für dieses geradlinige Wandern der Emanation in Form eines Strahles zur negativen Elektrode eines elek-

trischen Feldes hat Giesel den Namen *E*-Strahl vorgeschlagen.

Kehren wir zu dem Gieselschen Versuch zurück, so sehen wir, daß nicht nur die von der Emanation direkt getroffene Stelle des Schirmes phosphoresziert, sondern auch der ganze übrige Schirm leuchtet. Es läßt sich unschwer feststellen, daß dieses Leuchten durch eine von dem kreisrunden, emanationsbestrahlten Fleck ausgehende, wie sich Giesel ausdrückt, „zweite Emanation" hervorgerufen wird. Denn bläst man einen kräftigen Luftstrom an dem Schirm vorbei, so hört das Leuchten auf, mit Ausnahme des runden Fleckes gegenüber der Zylinderöffnung. An diesem ist also die positive Ladung führende Emanation in fortwährendem Zuströmen festgehalten, während die „zweite Emanation" keine Ladung besitzt, da sie von dem Sidot-Schirm weder abgestoßen (was auf negative Ladung deuten würde), noch angezogen (positive Ladung) wird.

Nun liegt aber kein wesentlicher Grund vor, Giesels „zweite Emanation" als ein selbständiges Verwandlungsprodukt der geladenen Emanation zu betrachten; vielmehr dürfte die Ansicht richtig sein, daß letztere am negativ geladenen Sidot-Schirm ihre positive Ladung abgibt, dabei aber nicht zerfällt, sondern materiell, wie radioaktiv unverändert weitergeht.

Was nun aber für die Teilchen der Aktiniumemanation gültig ist, darf auch für die anderen Emanationen angenommen werden, nämlich, daß die Teilchen der Emanation im Momente des Entstehens positive elektrische Ladung besitzen.

Wir können hier eine zweite Beobachtung anfügen, die uns über die Ladung der von der Emanation ausgehenden Strahlung Aufschluß gibt. Wissen wir doch,

daß sämtliche vom Radium ausgesandte α-Teilchen positive Ladung besitzen, da sie im elektrischen Felde stets zur negativen Elektrode abgelenkt werden, und wissen wir doch ferner, daß ungefähr 40% der gesamten α-Strahlung von der Emanation herrühren; so dürfen wir auch ohne weiteres daraus schließen, daß die α-Strahlung der Emanation positive Ladung mit sich führt.

So ziehen wir also aus dem Vorstehenden den gemeinsamen Schluß:

Die Materie, welche aus dem Atom nach Austritt des positive Ladung führenden Strahles entsteht, ist ebenfalls positiv geladen. (Rutherford.)

Die Lebensdauer der Emanationen. Es ist schon angedeutet worden, daß wir es in den Emanationen nicht mit beständigen radioaktiven Neubildungen zu tun haben, sondern vielmehr mit Umwandlungsprodukten der radioaktiven Desaggregation, die, wie Thor X und Uran X, vorübergehender Natur sind.

Es ist nun unsere Aufgabe, zu betrachten, wie lange jene ihrem Wesen nach radioaktiven Elemente bestehen können.

Es zeigt sich hier ein großer und so wesentlicher Unterschied in dem Verhalten der drei uns bekannten Emanationen, daß wir sie einzeln betrachten müssen.

Das Abklingen der Thoremanation. Ein von Soddy angegebener Apparat ist in Fig. 15 abgebildet. Er dient dazu, das Abklingen der Thoremanation zu bestimmen, d. h. die Zeit zu ermitteln, in der die Radioaktivität der Thoremanation vom Höchstwert auf den Nullwert sinkt. In dem Rohre *A* befindet sich die Thoremanation abgebende Substanz. In der Richtung des Pfeiles wird über sie ein Luftstrom geleitet, der die Emanation fort-

führt. In der Glaskugel B befindet sich Baumwolle, welche die durch Strahlung erzeugten Ionen der treibenden Luft zurückhält. Die Emanation gelangt dann in den Metallzylinder M und ionisiert in diesem die Luft. Dieser Zylinder bildet die eine Elektrode in einem elektrischen Felde, dessen Potential durch Anlegen an den einen Pol einer Batterie Ba erhalten wird. Die andere Elektrode ist in drei voneinander und von dem Zylinder

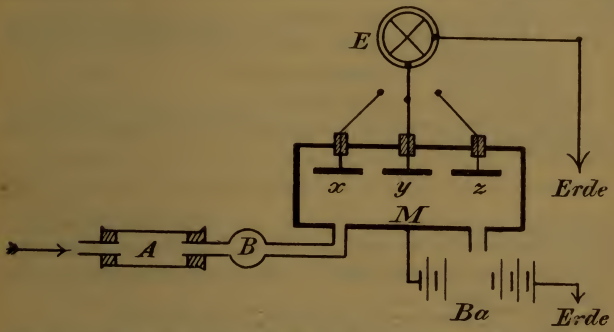


Fig. 15. Apparat zur Bestimmung der Abklingungsgeschwindigkeit der Emanation.

durch Bernsteindüsen isolierte Teile geteilt, die durch die Metallplatten x, y und z dargestellt werden. Diese Elektroden können der Reihe nach mit dem Elektrometer E verbunden werden. Der Ionisierungsstrom geht von den Wandungen des Zylinders zu den Platten x, y und z. Kennt man die Geschwindigkeit, mit welcher sich der die Ionisation bewirkende Emanationsstrom durch den Zylinder bewegt, und mißt man der Reihe nach die Ionisierungsströme zwischen dem Zylinder und den Platten, so bilden diese Werte ein Maß für den Abfall der Radioaktivität der Emanation.

Man erhält Vergleichswerte für diese Abfallsgeschwindigkeiten, wenn man den Gasstrom auf konstanter Geschwindigkeit erhält, die Röhre *A* aber mit verschiedenen Thorverbindungen und Thor X-Präparaten beschickt.

Dabei wurde gefunden, daß man in allen Fällen stets die gleichen Werte erhielt, welcher Art das Thorpräparat auch war.

Die für das Abklingen der Thoremanation gefundenen Werte sind:

nach 1 Minute zirka $^1/_2$ des ursprünglichen Wertes.
„ 10 Minuten „ $^1/_{1000}$ „ „ „
„ 20 Minuten „ $^1/_{1\,000\,000}$ „ „ „

Diese Abnahme stellt eine geometrische Progression dar, der durch die Gleichung:

$$\frac{Jt}{J_0} = e^{lt}$$

Ausdruck gegeben wird, wobei die „Radioaktivitätskonstante“ l, d. i. die Zahl, durch welche die Radioaktivität des betreffenden Körper genau gekennzeichnet wird, $16 \cdot 10^{-2}$ besitzt.

e ist die Basis der natürlichen Logarithmen.

Das Abklingen der Aktiniumemanation. Die Emanation des Aktiniums zeigt ebenfalls ein Abklingen im Sinne derselben geometrischen Progression, wobei aber l den Wert $0{,}17 \cdot 10^{-4}$ hat, so daß die Lebensdauer dieser Emanation eine überaus kurze ist, indem ihr Wert, wie sich durch Experiment und Rechnung ergibt, in schon 3,9 Sekunden auf die Hälfte des ursprünglichen Betrages sinkt und nach 5,7 Sekunden die Emanation verschwunden ist.

Das Abklingen der Radiumemanation. Die Wertangaben für die Beständigkeit der Radiumemanation stammen vom Ehepaar Curie. Ihre Bestimmungen wurden in der Weise ausgeführt, daß sie den inneren Raum

einer Glasröhre durch längere Kommunikation mit einer Radiumsalzlösung aktivierten und dann während der Dauer der Abklingung die Intensität der die Röhrenwandungen durchdringenden Strahlung bestimmten, nachdem die Röhre vorher zugeschmolzen war.

Auch die Radiumemanation folgt bezüglich ihrer Abklingung dem bei Thor- und Aktiniumemanation zitierten Exponentialgesetz, jedoch mit dem Unterschiede, daß der Wert für l hier mit $4{,}97 \cdot 10^{-5}$ eingesetzt werden muß, so daß die Aktivität der Radiumemanation in etwa vier Tagen auf die Hälfte ihres Wertes gesunken ist.

Gültigkeit der Abklingungsgesetze. Die für die verschiedenen Emanationen gefundenen Abklingungsgesetze und Werte sind unabhängig von der Anordnung des Versuches und von der dabei herrschenden Temperatur. Sie sind also ein spezifisches Charakteristikum der verschiedenen Emanationen.

Volumen der Radiumemanation. Im Zusammenhang mit dem eben besprochenen Abklingen oder allmählichen Verschwinden der Radiumemanation stehen Versuche, die Ramsay und Soddy angestellt haben, um das Volumen dieses Gases zu bestimmen.

Durch einen verhältnismäßig einfachen und überaus sinnreichen Apparat, dessen Beschreibung aber hier zu weit führen würde, gelang es diesen beiden Forschern, in einer mit Volumskala versehenen Kapillare Radiumemanation frei von allen anderen Gasen aufzufangen. — Dabei fanden sie, daß 60 g Radiumbromid eine Emanation erzeugen, die bei 0° und 760 mm Druck einen Raum von 0,03 bis 0,04 cmm einnimmt, so daß also die in 5,3 Tagen (mittlere Lebensdauer der Radiumemanation) von 1 g reinem Radium hervorgebrachte Emanation 1,3 cmm Raum beanspruchen würde.

Das aus 60 mg Radiumbromid gewonnene Emanationsbläschen wurde nun beobachtet und dabei wurden folgende Volumina gemessen:

nach 1	Tage	0,027 cmm
„ 3	Tagen	0,011 „
„ 6	„	0,0063 „
„ 9	„	0,0041 „

Nach ungefähr drei Wochen war kein meßbares Volumen mehr vorhanden. Diese Abnahme des Volumens stimmt mit der Abklingung der Radioaktivität der Emanation nicht ganz überein. Wir werden den Grund dafür noch kennen lernen.

Vorkommen der Radiumemanation, Fontaktoskop und Bedeutung für die physiologischen Wirkungen radioaktiver Quellwasser. Die Radiumemanation findet sich überall da, wo radioaktive Substanz lagert, und gibt sich durch elektroskopische Prüfung leicht zu erkennen.

Radiumemanation findet sich ziemlich häufig im Erdboden und wurde von Elster und Geitel zuerst dort nachgewiesen.

Aber auch in verschiedenen Quellwassern findet sich Radiumemanation gelöst, die wahrscheinlich in größerer Tiefe aufgenommen worden ist. J. J. Thomson hat sie zuerst im Leitungswasser von Cambridge entdeckt.

Da der Strahlung der Radiumemanation natürlich dieselben physiologischen Wirkungen zukommen, wie jener des Radiums selbst, so liegt in dem Emanationsgehalt von Wassern, die zu Bädern oder Trinkkuren verwendet werden, eine Bedeutung von größter Wichtigkeit. Diese hat zu vergleichenden Messungen des Emanationsgehaltes verschiedener Quellen Anlaß gegeben.

Die Methode solcher Messungen beruht, wie bei jenen der festen Substanzen, auf Beobachtung der Ionisation der Luft durch Messung der Geschwindigkeit des Spannungsverlustes eines geladenen Elektroskopes. Die Strahlung gebende Emanation muß dem Wasser durch Ausschütteln oder Ausquirlen entnommen werden.

Man kann sich dazu der älteren, von Himstedt angegebenen „Zirkulationsmethode“ bedienen, die darin besteht, daß ein Luftstrom eines in sich geschlossenen Systems mittels einer Quetschpumpe eine mit emanationshaltigem Wasser gefüllte Flasche durchquirlt, dort die Emanation an sich reißt und sie bei dem Hahn *H* in die auf Seite 49 beschriebene Elster-Geitelsche Glocke eintreten läßt.

Sie bewirkt die Ionisation der Luft in der Glocke und damit eine entsprechende Entladung des darin aufgestellten Elektroskopes. Durch den zweiten Hahn tritt die Luft wieder aus, wird zur Pumpe und von dort von neuem zum Durchquirlen geführt. Dies wird so lange fortgesetzt, bis das Maximum der Entladungsgeschwindigkeit erreicht ist, was zirka 1 Stunde in Anspruch nimmt.

Die Methode hat verschiedene Nachteile: Einmal müssen verschiedene Trockenapparate zwischen dem Wasser und der Glocke eingeschaltet werden, um keine störende emanationshaltige Feuchtigkeit in diese gelangen zu lassen. Dann sind die unvermeidlichen Schlauchverbindungen, durch welche die Emanation leicht diffundiert, ein Mangel; ferner führt die lange Versuchsdauer zu Strahlungserscheinungen, die bei dem Abklingen der Emanation auftreten und eine Korrektion bei der Berechnung nach sich ziehen, und endlich sind Umfang und Gewicht, sowie der motorische Antrieb des Apparates große Nachteile.

Diese werden vermieden bei dem von Engler und Sieveking erfundenen „Fontaktoskop".

Dieser in Fig. 16 wiedergegebene Apparat besteht aus einer Blechkanne, auf deren Hals das Elektroskop ebenso aufgesetzt werden kann, wie dies bei dem in Fig. 12 beschriebenen Apparat geschieht. Zunächst wird bei der Anwendung dieses Apparates in denselben die gemessene Menge des auf Zimmertemperatur gebrachten zu untersuchenden Wassers gegeben (je nach der Radioaktivität ¼ bis 2 Liter). Dann wird der Hals der Kanne mit einem Gummistopfen verschlossen und der Apparat kräftig geschüttelt. Die im Wasser gelöste Emanation entweicht dabei aus diesem und es tritt sehr rasch ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Emanationsgehalt der Luft und dem des Wassers ein. Ein durch Ausschütteln von Gas, namentlich Kohlensäure, entstandener Überdruck wird durch Ablassen von etwas Wasser durch den am Boden befindlichen Hahn ausgeglichen. An Stelle des Gummistopfens wird dann der Zerstreuungskörper eingesenkt, das Elektroskop aufgesetzt, geladen und der Voltabfall aus der

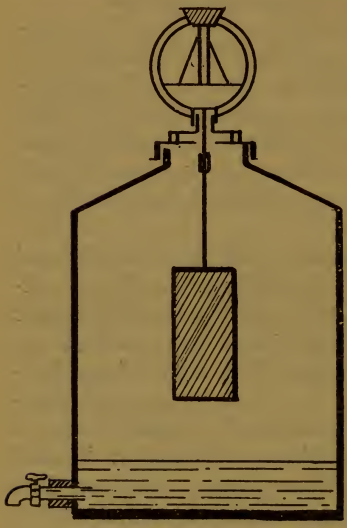


Fig. 16. Fontaktoskop.

Verminderung der Blättchendivergenz bestimmt. Kennt man die elektrostatische Kapazität des Apparates, so kann man mit deren Hilfe die Voltzahlen in Werte (elektrostatische Einheiten) umrechnen, die unabhängig sind von den Dimensionen des Apparates.

Neuerdings ist von Schmidt ein Apparat konstruiert worden, der auf einer Kombination der Zirkulations- und Schüttelmethode beruht und sehr gute Resultate zu liefern scheint.

Bei allen Methoden muß natürlich vor Gebrauch des betreffenden Apparates der „Normalverlust" bestimmt werden.

Mitgeteilte Radioaktivität.

Die Curies haben im Laufe ihrer Untersuchungen über Radiumsalze die Wahrnehmung gemacht, daß diese anderen inaktiven Substanzen, die sich in ihrer Nachbarschaft befinden, eine vorübergehende Radioaktivität erteilen.

Rutherford machte bald darauf Mitteilung, daß er die gleiche Beobachtung mit der Emanation des Thors gemacht habe.

Endlich war es Debierne, der dieselbe Eigenschaft beim Aktinium nachwies.

Die Eigenschaft dritter Körper, in der Nähe radioaktiver Substanzen selbst radioaktiv zu werden, wurde von den genannten Forschern „induzierte" oder „mitgeteilte Radioaktivität" genannt.

Sie charakterisiert sich für jeden Fall durch folgende Eigenschaften.

1. Die mitgeteilte Aktivität ist um so stärker, je länger sich der induzierte Körper in der Nähe der radioaktiven Substanz befand, doch wird ein

Grenzwert der mitgeteilten Radioaktivität asymptotisch erreicht.

2. Ein und dasselbe radioaktive Salz wirkt auf verschiedene Körper gleichartig und gleichstark induzierend.
3. Der Grenzwert der mitgeteilten Aktivität wächst mit der Aktivität des induzierenden Präparates.
4. Die der Einwirkung der aktivierenden Substanz entzogenen mitgeteilt aktiven Körper verlieren ihre Aktivität im Sinne eines Exponentialgesetzes.

Zur Untersuchung der Eigenschaften mitgeteilt aktiver Substanzen wurden diese zuerst in freier Luft der Nachbarschaft und Einwirkung radioaktiver Präparate ausgesetzt. Es zeigte sich aber, daß die erhaltenen Werte schwankend waren und der vom Präparat ausgehende aktivierende Einfluß durch Luftströmungen weggeblasen werden konnte.

Die Aktivierung wurde daher in einem geschlossenen Gefäß vorgenommen. Dabei fanden Curie sowohl wie Rutherford, daß die in dem Aktivierungsgefäß enthaltene Luft selbst radioaktiv geworden war und sogar in diesem Zustand aus dem Gefäß entfernt werden konnte und dann noch immer in der Lage war, mitgeteilte Aktivität zu erzeugen.

Wir wissen, daß dieser Versuch Rutherford zur Entdeckung der Emanation des Thors führte (Seite 57), und daß für Radium und Aktinium ebenfalls derartige Umwandlungsprozesse existieren. Sie sind es, die die Aktivierung dritter Körper herbeiführen. Dies haben wir auch bewiesen durch den auf Seite 62 beschriebenen Versuch, wonach ein Gefäß, das mit Emanation gefüllt war, immer noch Radioaktivität zeigte, auch nachdem die Emanation aus dem Gefäße ausgeblasen war. Auch dabei

haben wir darauf hingedeutet, daß diese dem Gefäße mitgeteilte Aktivität kein beständiges Produkt, sondern ein abklingender Verwandlungstyp der Emanation ist, dessen Zerfall von einer Energiestrahlensendung aus begleitet ist, die um so schwächer wird, je weiter die Entaktivierung fortschreitet.

Natur der mitgeteilten Aktivität. In den verschiedenen Emanationen haben wir materielle, mit allen Eigenschaften echter Gase ausgestattete Körper kennen gelernt. Im Uran X und Thor X konnten wir dagegen nur die radioaktiven Eigenschaften ermitteln, keine materiellen, obwohl aus der chemischen Reaktionsfähigkeit auf das Vorhandensein eines materiellen Etwas geschlossen werden muß. Ganz ähnlich ist dies der Fall bei den mitgeteilten Aktivitäten. Diese lösen sich nämlich, wie Rutherford konstatiert hat, in einigen Säuren auf. Praktisch gestaltet sich dieser Versuch wie folgt:

Man induziert einen Platindraht und spült ihn mit Salzsäure ab, diese in einer Platinschale auffangend (Platin wird bekanntlich von Säuren nicht angegriffen). Dampft man nun die Säure in der Schale ab, so erweist sich die letztere radioaktiv und klingt in der gleichen Weise ab, wie dies die mitgeteilte Aktivität am Drahte getan hätte. In der Schale ist keine Spur irgend eines Rückstandes wahrnehmbar.

Ein anderer Versuch, der noch leichter anzustellen ist, besteht darin, daß man einen mitgeteilt radioaktiven Körper mit einem Lappen (etwa aus Leder) abwischt. Dieser wird sich alsdann radioaktiv erweisen, während der Körper inaktiv geworden ist.

Diese Umstände legen uns nahe, die Natur der mitgeteilten Aktivität als materiell aufzufassen, etwa in Form eines Hauches, der sich in unsichtbarer und un-

wägbarer Menge auf dem induzierten Körper niederschlägt.

Mitgeteilte Aktivität, durch Eintauchen in Radiumlösung erhalten. Taucht man verschiedene Elemente nacheinander in ein und dieselbe Flüssigkeit, so zeigt sich zwischen dieser und den verschiedenen Stoffen eine jeweils verschiedene elektrische Potentialdifferenz, die in dem verschieden starken Bestreben des eingetauchten Körpers, Sauerstoff aus der Lösung aufzunehmen, ihre Ursache hat. Es laden sich hierbei die sauerstoffaufnehmenden Substanzen negativ, die sauerstoffabgebenden positiv elektrisch. Ordnet man die Elemente im Sinne vom stärksten negativen zum stärksten positiven, so erhält man eine Anordnung, die unter dem Namen Spannungsreihe bekannt ist. Taucht man nun Metalle in die Lösung eines Radiumsalzes, so zeigt sich, daß ihnen Radioaktivität mitgeteilt wird, und zwar um so mehr, je stärker elektronegativ das Metall in der Spannungsreihe ist. Es gilt also für die durch Eintauchen in Radiumsalzlösung entstehende mitgeteilte Aktivität der Satz, daß diese sich stets an der negativen Elektrode niederschlägt. Der Unterschied von der durch Gasleitung (Emanation) mitgeteilten Aktivität besteht darin, daß deren Intensität abhängig ist von der Stärke des aktivierenden Präparates, der Aktivierungsdauer und der Größe der aktivierten Fläche, während die Natur des aktivierten Körpers dabei keine Rolle spielt. Dies ist aber bei der durch Eintauchen erzeugten mitgeteilten Aktivität gerade der bestimmende Faktor.

Mitgeteilte Aktivität, erhalten durch gemeinsames Auflösen mit radioaktiven Stoffen. Eine Aktivierung dritter Stoffe tritt auch ein, wenn sie gemeinsam mit radio-

aktiven Substanzen in Lösung gebracht und durch chemische Agentien wieder ausgefällt werden.

Die in dieser Art mitgeteilte Aktivität ist sehr intensiver Natur, was in einem kräftigen Strahlungsvermögen zum Ausdruck gelangt. Auch hier ist die Natur des gelösten, zu aktivierenden Stoffes der maßgebende Faktor, doch dürfen die Gesetze der Spannungsreihe hier keine Anwendung finden. Die Entdeckung dieser Art der mitgeteilten Aktivität war es, die zur Auffindung von Uran X und Thor X führte. Sie ist aber auch derjenige Umstand, der es bei der Isolation radioaktiver Produkte auf chemischem Wege geradezu unmöglich macht, manche Körper (z. B. Eisen, Blei) völlig inaktiv abzuscheiden.

Die Abklingungsgeschwindigkeiten der mitgeteilten Aktivitäten.

Noch mehr Unterschied in der Lebensdauer als die Emanationen zeigen die mitgeteilten Aktivitäten von Radium, Thor und Aktinium.

Die Entaktivierung oder das Abklingen einer mitgeteilten Aktivität ist verschieden, je nachdem dieser Vorgang in freier Luft oder in einem geschlossenen Gefäße vor sich geht.

In beiden Fällen verläuft er nach einem Exponentialgesetze, im ersten Falle jedoch schneller als im zweiten. Für die praktische Verwertung der Zerfallsvorgänge der mitgeteilten Aktivitäten genügt es zunächst, diese in ihren allgemeinen Abklingungsgeschwindigkeiten kennen zu lernen.

Die mitgeteilte Aktivität des Thors klingt derart ab, daß sie nach 11 Stunden den halben Wert ihrer ursprünglichen Strahlungsintensität erreicht hat.

Beim Radium wird dieser Halbwert in 28 Minuten und beim Aktinium in 40 Minuten erreicht. Es läßt sich natürlich auch der Verlauf dieser Abklingungen graphisch in Form einer Kurve darstellen, und es findet diese Form bei vergleichenden Messungen häufig Anwendung.

Praktische Verwertung dieser Unterschiede. Da also die Dauer der Abklingung mitgeteilt aktiver Körper verschieden ist, je nachdem die Aktivität von einem der drei emanationgebenden radioaktiven Stoffen herrührt, ist mit dieser Eigenschaft ein wichtiges Unterscheidungsmittel für die drei Substanzen gegeben.

Die praktische Anwendung dieser Tatsache bedient sich aber noch eines anderen, von Rutherford ermittelten Umstandes:

Die aus einer Emanation entstehende mitgeteilte Aktivität haftet, wenn sich in ihrer Nähe eine elektrisch negativ geladene Elektrode befindet, stets an dieser.

Es ist also ein leichtes, die mitgeteilte Aktivität einem bestimmten kleinen Körper zuzuwenden und dessen Abklingung nach Entfernung aus der aktivierenden Emanation zu beobachten.

Die Einrichtung und Durchführung einer derartigen Abklingung gestaltet sich folgendermaßen:

In einem geräumigen Behälter aus Blech (Fig. 17) befindet sich die zu untersuchende emanationgebende Substanz. Durch den isolierenden Bernsteinstopfen führt ein Kupferdraht, an dessen hakenförmigem Ende ein etwa meterlanger, spiralförmig aufgewundener Bleidraht hängt. Dieser Draht ist mit dem negativen Pol einer Hochspannungsbatterie, bestehend aus einer Kombination mehrerer Zambonischer Säulen, die eine Gesamtspannung von etwa 2000 Volt zu liefern imstande

sind, verbunden, während der positive Pol derselben mit dem Aktivierungsgefäß in leitender Verbindung steht.

Im Nebenschluß kann man ein geerdetes Elektrometer noch mit dem negativen Pol der Batterie verbinden, um daran die Leistungsfähigkeit der Batterie jederzeit zu kontrollieren. Die mitgeteilte Aktivität wird unter dieser Anordnung fast ausschließlich auf dem Bleidraht

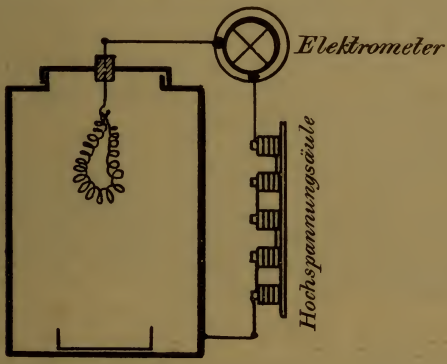


Fig. 17. Apparat zur Aktivierung eines negativ geladenen Bleidrahtes.

niedergeschlagen. Hat man genügend lange aktiviert, so wird der Bleidraht aus seiner Aufhängung genommen und dieser Zeitpunkt mit der Sekundenuhr festgehalten. Man bringt ihn sofort in eine Elster-Geitelsche Glocke oder einen Engler-Sievekingschen Apparat (Seite 49 und Seite 51) und beobachtet in Intervallen von 15 zu 15 Minuten die Geschwindigkeit, mit der das auf ein bestimmtes Potential geladene Elektroskop seine Spannung verliert.

Die Geschwindigkeit wird nach jedem Zeitintervall eine andere sein, da sich ja die die Elektroskopentladung

bewirkende Luftionisation mit der Intensität der Strahlung ändert, die beim Zerfall der mitgeteilten Aktivität ausgesandt wird.

Die so ermittelten Werte einerseits, die Zeitabstände andererseits ergeben die Punkte für die Abklingungskurve der geäußerten mitgeteilten Aktivität.

Die komplexe Natur der mitgeteilten Aktivität und die weiteren Desaggregationsprodukte.

Wenn wir den Zerfall der mitgeteilten Aktivitäten genau verfolgen, so erkennen wir, daß dieser Vorgang keineswegs so regelmäßig verläuft, wie es nach dem bisher Gesagten den Anschein hat.

Wohl befolgen die Abnahmen der Strahlungsintensitäten beim Zerfall der mitgeteilten Radioaktivitäten alle das nämliche Exponentialgesetz, das wir beim Abklingen der Emanationen kennen gelernt haben, aber der Exponentialfaktor l der Gleichung

$$J_t = J_0 \cdot e^{-lt}$$

wechselt mehrfach und zwar aufeinanderfolgend seinen Wert.

Mit anderen Worten, wir haben es bei der mitgeteilten Aktivität nicht mit einem Umwandlungsprodukt der Emanation zu tun, sondern mit einer ganzen Reihe aufeinanderfolgender Verwandlungsstufen.

Wir erkennen diese verschiedenen Desaggregationsprodukte ausschließlich an der Ausstrahlung elektrischer Teilchen.

Diese Strahlenaussendung geht in jedem Umwandlungsfall (mit zwei Ausnahmen) vor sich und nimmt mit dem Verschwinden des vorhergehenden radioaktiven Produktes und mit der dabei gleichzeitig stattfindenden

Bildung des nachfolgenden neuen Umwandlungsteiles an Intensität ab.

Diese Intensität aber messen wir, wie bekannt, elektroskopisch und geben dabei in Voltzahlen und Zeiteinheiten die Lebensdauer der fraglichen radioaktiven Produkte an, oder nennen die Zeit, in der der Zerfall zur Hälfte vorgeschritten ist.

Auch die Bestimmung der Natur der auftretenden Strahlung bietet nach dem in früherem Beschriebenen keine Schwierigkeiten mehr.

Endlich sind die materiellen oder sonstigen charakteristischen Eigenschaften der einzelnen radioaktiven Desaggregationstypen teilweise erforscht, und wir können uns ein ziemlich vollständiges Bild der radioaktiven Umwandlungsvorgänge machen.

Die Zerfallsprodukte der radioaktiven Emanation werden mit den fortlaufenden Indexen A, B, C usw. bezeichnet, unter Voranstellung des Namens des ursprünglichen radioaktiven Elementes.

Wir geben nachstehend vier kleine Tabellen, die den heutigen Stand unserer Kenntnis von der radioaktiven Umwandlung dartun. Dabei sind die in früheren Kapiteln besprochenen Desaggregationsprodukte der Vollständigkeit halber mit aufgenommen.

I.

Produkt	Zeit für den halben Zerfall	Sendet aus	Eigenschaften
Uran ↓ Uran X	22 Tage	β Teilchen	Chemisch abtrennbar

II.

Produkt	Zeit für den halben Zerfall	Sendet aus	Eigenschaften
Thor			
↓			
Thor X	4 Tage	α Teilchen (75 %) β Teilchen	Chemisch abtrennbar
↓			
Emanation	1 Minute	α Teilchen	Gas
↓			
Thor A	30 Minuten	α Teilchen β Teilchen	
↓			
Thor B	11 Stunden	α Teilchen β Teilchen	
↓			
Thor C			

III.

Produkt	Zeit für den halben Zerfall	Sendet aus	Eigenschaften
Aktinium			
↓			
Aktinium X	10,2 Tage	α Teilchen	Chemisch abtrennbar
↓			
Emanation I	3,7 Sekund.	α Teilchen	Gas
↓			
Emanation II	1,5 Sekund.	nichts	*E* Strahl (Giesel)
↓			
Aktinium A	36 Minuten	α Teilchen β Teilchen	
↓			
Aktinium B	1,5 Minuten		
↓			
Aktinium C			

IV.

Produkt	Zeit für den halben Zerfall	Sendet aus	Eigenschaften
Radium	1000 Jahre	α Teilchen β Teilchen γ Strahlen	—
↓			
Emanation	4 Tage	α Teilchen	Gas
↓			Wandert zur — Elektrode.
Radium A	3 Minut.	α Teilchen	Lösl. in starken Säuren
↓			
Radium B	21 Minut.	nichts	Flüchtig bei 500°
↓		α Teilchen	
Radium C	28 Minut.	β Teilchen γ Strahlen	Flüchtig bei ca. 1000°
↓		β Teilchen	Löslich in
Radium D	ca. 40 Jahre	γ Strahlen	H_2SO_4
↓			Flüchtig bei 1000°. Haftet in Lösung am Wismut
Radium E	ca. 1 Jahr	α Teilchen	
↓			
Radium F	ca. 328 Tage	α Teilchen	Identisch mit Polonium

Das Endprodukt der radioaktiven Umwandlung.

Nachdem wir im vorstehenden gesehen haben, daß bei der Desaggregation nur unbeständige radioaktive Produkte entstehen, mit längerer oder kürzerer Lebensdauer, liegt die Frage nahe, ob aus diesen Umwandlungen nicht schließlich ein Produkt hervorgehen wird, das die

Eigenschaften der Radioaktivität nicht mehr zeigt, also beständig sein muß.

Von den radioaktiven Elementen, die wir betrachtet haben, Uran, Thor, Radium und Aktinium, wissen wir, daß die ersten beiden eine so geringe Radioaktivität besitzen, daß die experimentelle Prüfung der oben gestellten Frage sehr große Anforderungen an die Menge und an die Versuchszeit stellen würde. Geeignet für die Suche nach dem endlichen Produkt der radioaktiven Umwandlung erweist sich aber das Radium, dessen starke Aktivität auf einen starken Zerfall hinweist.

Welcher Art das Endprodukt sein wird, geht aber schon aus einer Überlegung hervor, die von Rutherford und Soddy zuerst ausgesprochen wurde.

Lord Ramsay hat bekanntlich Mitte der 90er Jahre eine Reihe Gase entdeckt[1]), die sich mit keinem andern Stoffe zu verbinden imstande sind. Sie werden daher als Edelgase bezeichnet. Ramsay hatte sehr bald auf die auffallende Tatsache aufmerksam gemacht, daß eines dieser Gase — das Helium — sich ausschließlich in jenen Mineralien findet, die Uran und Thor enthalten. Die beiden obengenannten englischen Forscher vermuteten daraufhin, daß das Helium ein Zersetzungsprodukt dieser radioaktiven Stoffe sei, sich in diesen aber ansammle, ohne entweichen zu können, wie dies ja bei der Emanation sehr gut beobachtet werden kann (vgl. das auf Seite 61 Gesagte).

Eine chemische Bindung des Heliums ist ausgeschlossen, denn es gehört, wie bemerkt, zur Familie inerter Gase, die unfähig sind, mit anderen Elementen in chemische Verbindung zu treten, wenn sie einmal

[1]) Vergl. Sammlung Göschen, Band Metalloide, S. 152.

durch Erhitzen oder Auflösen des Minerals aus diesem ausgetrieben sind.

Die Richtigkeit dieser Vermutung ist durch einen glänzenden Versuch bestätigt worden, den Ramsay und Soddy ausgeführt haben.

Er gründet sich auf den schnellen Zerfall des Radiums und den spektroskopischen Nachweis des vermutlich entstehenden Heliums.

In Fig. 18 ist der Apparat wiedergegeben, der dieser Untersuchung zugrunde liegt.

Dabei sind die Kugel A und die mit zwei Hähnen H_1 und H_2 versehene Kugel B zunächst einzelne, vom übrigen Apparat getrennte Teile. — In A wird Radiumbromid gegeben (Ramsay verwandte 30 mg), dann diese Kugel an der Stelle M an das Kugelrohr B angeschmolzen und dieses System A-B vollkommen luftleer gepumpt. Nachdem sodann der untere Hahn geschlossen worden ist, wird die Kugel B mit Wasser gefüllt, das durch Kochen luftfrei gemacht ist. Hierauf wird A-B an den übrigen Apparat bei der Stelle N angeschmolzen. Im Teile C befindet sich eine Kupferdrahtspirale, die zunächst oxydiert wird, indem man aus der mit Quecksilber abgeschlossenen Bürette G Sauerstoff in C eintreten läßt, während die Spirale durch den der Batterie I entnommenen elektrischen Strom zur Rotglut erhitzt wird. Dann werden die Hähne geschlossen und der ganze Apparat mittels einer an den Ansatz L angeschlossenen Quecksilberluftpumpe gründlich luftleer gepumpt. Nun löst man das in A befindliche Radiumbromid auf, indem man das Wasser aus B durch Öffnen des Hahnes H_1 in die Kugel A treten läßt.

Das Radiumbromid gibt sofort die von ihm eingeschlossenen Gase ab und diese gelangen nach Öffnen

von H_2 nach C und werden dort von Wasserstoff und Sauerstoff durch die glühende Kupferspirale, die eine

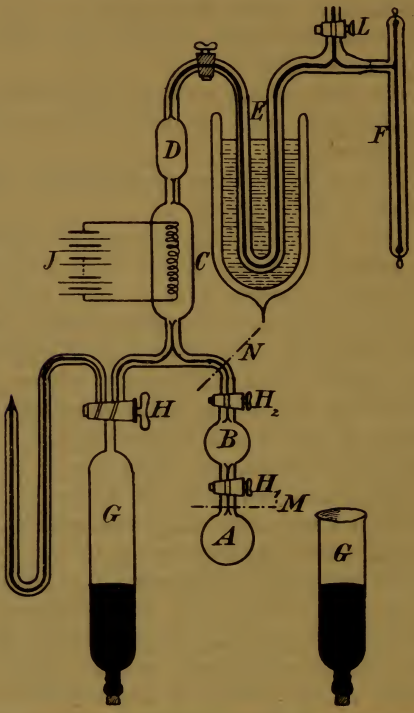


Fig. 18. Apparat zur Demonstration der Umwandlung des Radiums in Helium.

absorbierende Wirkung ausübt, befreit. Das entstehende Wasser wird im Teile D, der mit Phosphorpentoxyd gefüllt ist, aufgenommen.

Nun läßt man von *G* aus Quecksilber in den Apparat steigen. Dieses treibt die Gase zunächst in die U-förmige Röhre *E*, worin Kohlensäure und Radiumemanation verdichtet werden, da *E* in einem Gefäß mit flüssiger Luft gekühlt wird. Der endlich übrigbleibende Gasrest wird in die Spektralröhre *F* getrieben und in dieser spektroskopisch untersucht.

Es zeigte sich nun bei derartig angestellten Versuchen, daß die winzige in *F* eingeschlossene Gasmenge Helium war.

Noch überzeugender wurde die Umwandlung des Radiums in Helium durch folgenden einfachen Versuch dargetan.

Die Emanation von 50 mg Radiumbromid wurde in einer Spektralröhre kondensiert, dann alle flüchtigen Gase — also auch eventuell vorhandenes Helium — durch Auspumpen entfernt und die Röhre zugeschmolzen.

Bei der spektroskopischen Beobachtung zeigten sich nach drei Tagen die charakteristischen und nach fünf Tagen sämtliche Heliumlinien.

Auch deutsche Forscher, Himstedt und G. Meyer, haben dieses Entstehen von Helium aus Radium nachgeprüft und sind zu den gleichen Ergebnissen gelangt, wie ihre englischen Kollegen.

Einwandfrei steht also fest, daß Helium das endliche Umwandlungsprodukt der radioaktiven Stoffe ist.

Erklärung der radioaktiven Umwandlung durch die Elektronentheorie.

Die Entdeckung der radioaktiven Stoffe hat so merkwürdige Erscheinungen erkennen gelehrt, daß es fast den Anschein hatte, als ob die fundamentalste Grundlage unserer Naturwissenschaften, der Satz von der „Erhaltung der Energie“, ins Wanken geraten würde.

Die radioaktiven Substanzen produzieren fortwährend neue stoffliche Gebilde und beträchtliche Mengen von Energie der verschiedensten Form, und doch verringert sich die Menge und das Gewicht dieser Stoffe scheinbar nicht.

Es ist eine große Reihe von Hypothesen entstanden, die alle das Rätsel der Radioaktivität zu lösen versuchten. Ein Teil glaubte die Einwirkung äußerer, uns unbekannter Kräfte annehmen zu müssen, ein anderer legt die Energiequelle in die Struktur der radioaktiven Substanzen selbst.

Diese letztere Ansicht gewinnt immer mehr an Boden und es ist nötig, sich mit ihr bekannt zu machen.

Die Elektronentheorie. Die Chemie baut sich auf der Annahme auf, daß jeder Stoff aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt ist, die sich durch mechanische Hilfsmittel nicht weiter zerlegen lassen. Diese kleinsten Masseteilchen bestehen noch aus denselben Grundstoffen, wie die gesamte uns wahrnehmbare Masse. Wir nennen sie die Molekel (Moleküle).

Die Molekel sind, mit Ausnahme der einatomigen Elemente, zusammengesetzt aus kleinsten Bestandteilchen, die chemisch nicht weiter zerlegbar sind. Diese Bestandteilchen sind die Atome.

Die Atome der Elemente (das sind die in keine verschiedenartige Teile zerlegbaren Grundstoffe) sind voneinander verschieden.

Ein Atom oder die Gruppierung mehrerer gleichartiger Atome stellt also das Molekel eines Elementes, die Gruppierung verschiedenartiger Atome dagegen das Molekel eines zusammengesetzten Körpers dar.

Der fortschreitenden physikalischen und chemischen Wissenschaft konnten diese Grundanschauungen nicht

mehr genügen. Namentlich seit der Entdeckung der radioaktiven Elemente schien der Begriff des unzerlegbaren stabilen Atoms sehr schwankend geworden zu sein. Eine befriedigende Lösung aller Zweifel wurde gefunden, als Thomson seine „Korpuskulartheorie der Elektrizität" aufstellte.

Diese und andere Forschungsarbeiten betrachten die Atome als Körperchen, die zusammengesetzt sind aus einer Menge sogenannter Elektronen.

Diese Elektronen sind Anhäufungen von elektrischer Energie. Die einzelnen Atome unserer Elemente unterscheiden sich lediglich durch die Anzahl der Elektronen, aus denen sie aufgebaut sind.

Das Elektron ist also gewissermaßen der Urbestandteil aller Körper, die Materie also eine Kombination der Elektronen.

Die Masse eines Elektrons (dabei ist aber nicht Masse im gewöhnlichen Sinne, sondern „elektromagnetische Masse" zu verstehen) ist äußerst gering. Es wird ihr eine Größe von etwa dem zweitausendsten Teil des Wasserstoffatoms zugeschrieben.

Die Anhäufung der elektrischen Energie im Atom ist positiver und gleichstarker negativer Natur.

Aus der Vorstellung, daß die Anzahl der Elektronen die Masse des Atoms bedingt, kommt man zu der Folgerung, daß die Körper mit dem größten Atomgewicht aus der beträchtlichsten Menge von Elektronen bestehen, also die stärkste elektrische Energie in sich aufgespeichert enthalten.

Die Bildung unserer heutigen Atome müssen wir in die Entstehungszeit unseres Erdballes zurückverlegen.

Die Druck- und Temperaturverhältnisse sind aber seit jener Periode durchaus andere geworden und es darf

uns nicht wundernehmen, wenn einige jener damaligen Energieanhäufungen (Atome) unter den heutigen Naturverhältnissen nicht mehr zu bestehen imstande sind.

Die Elektronen negativer Ladung besitzen, wie die experimentelle Forschung lehrt, eine starke Tendenz, aus dem Atom zu entweichen.

Vermag nun ein Atom, das aus einer großen Menge von Elektronen gebildet ist, also ein hohes Atomgewicht besitzt, seinen Bestand, infolge des Loslösungstriebes der Elektronen, nicht mehr zu halten, so werden eben einzelne Elektronen abgespalten und diese werden sich zu neuen Gruppen, d. h. zu neuen Atomen von niedrigerem Atomgewicht zusammenlagern.

Nun bietet die Betrachtung des Zerfalls der radioaktiven Stoffe keine Schwierigkeiten mehr.

Von allen Elementen, die wir kennen, besitzen Uran, Thor und Radium die höchsten Atomgewichte. Sie müßten also, nach dem Gesagten, die größte Zerfallstendenz haben. In der Tat spalten sie fortwährend Elektronen ab — d. h. sie senden Strahlen korpuskularer Natur aus. Die unhaltbar gewordene Energieanhäufung Uran zerfällt ebenso, wie die als Thoratom bezeichnete; die abgespaltenen Elektronen lagern sich zu den Komplexen Uran X und Thor X zusammen. Diese, unter den bestehenden Verhältnissen immer noch unbeständig, zerfallen wiederum. Beim Thor kennen wir das nächste Produkt der Elektronenzusammenlagerung, die Emanation. Und so setzt sich dieses fortwährende Bilden und Zerfallen fort, bis ein Stadium erreicht ist, das unter den gegenwärtigen Verhältnissen bestehen kann.

Noch vielmehr Zerfallstendenz zeigt das Radium. Hier haben wir sogar praktisch das beständige Endprodukt kennen gelernt, das Helium.

Aus dem Atom Radium mit dem hohen Gewicht 225 hat sich das Atom Helium mit dem niedrigen 4 gebildet, hinweg über eine Reihe unbeständiger Zwischenformen.

Daß die enorme, in den radioaktiven Atomen aufgespeicherte Energie, soweit sie nicht zur Neubildung der einzelnen Produkte verwendet wird, in den verschiedensten Formen frei wird, haben wir kennen gelernt. Strahlung und Wärme sind solche Energieumwandlungen. Daß sie nur beim Zerfall einer unbeständigen Form auftreten können, ist damit selbstverständlich.

Auffallend erscheint jetzt nur noch die Tatsache, daß die Menge und Masse der radioaktiven Stoffe trotz der enormen Energieabgabe (über den Wert derselben vergleiche das auf Seite 42 Gesagte) sich nicht zu verringern scheint.

Und doch wird dies allmählich der Fall sein.

So klein das Molekel eines Stoffes für unsere Maß- und Gewichtsmethoden erscheint, so ungeheuer groß ist es im Vergleich zu den Elektronen, die seine Atome bilden.

Nehmen wir nun an, daß der radioaktive Zerfall immer nur an einem Atom des Molekels statthat, die übrige Menge der Atome dabei aber beständig bleibt, so gelangen wir in Größenverhältnisse, die selbst für unsere allerempfindlichsten Meßinstrumente nicht mehr wahrnehmbar sind.

Alphabetisches Sachregister.

(Die fetten Seitenzahlen bezeichnen die Hauptstellen.)

Abklingen der Emanation **66**ff.
— Aktiniumemanation 68.
— Radiumemanation 69.
— Thoremanation 66, 68.
— der mitgeteilten Aktivitäten 77.
Abklingungskurve 78, 80.
Aggregatzustand 5.
Aktinium 15, 21, **24**.
Aktinium X 57.
Aktiniumemanation 59.
Alter der Erde 42.
— der Sonne 42.
Aluminiumfolie 13.
Anode 9.
Antikathode 9.
Apparate 15, 33, 40, 49, 50, 60, 66, 72, 73, 79, 85.
Argon 61.
Ätherwellen 7.
Atom 81.
— Gewicht 24, 90.
— radioaktives 18.
Auflösen, mitgeteilte Aktivität erhalten durch 76.
Ausquirlen der Emanation 71.
Ausschütteln der Emanation 72.
Autunit 14.

Bäder in emanationshaltigem Wasser 70.
Bakterien, Zerstörung von 53.
Bariumchlorid, radiumhaltiges 39.
Bariumplatincyanürschirm 8, 37.
Becquerelstrahlen **12**, 27, 37.
Brandwunden 53.
Brechung 9, 13.
Bromwasserstoffsäure 23.

Carnotit 18.
Cäsium 19.
Chalkolith 14.

Desaggregation 57, 66.
Desaggregationsprodukte 57, 80.
Diamant 37, 38.
Dielektrika, ionisierte 52.

Edelgase 61, 84.
Einheiten, elektrostatische 73.
Eintauchen, Aktivierung durch 76.
Eiskalorimeter 40.
Elektronen 7, **89**.
Elektronentheorie 88.
Elektroskop 11, 51.
Element 54, 88.
Emanation **57**, 90.
— Atomgewicht der 62.
— Dichte der 62.
— Diffusionskoeffizient 62.
— Eigenschaften 59.
— — radioaktive 62.
— Expansion 61.
— Lebensdauer 70.
— Verbindungsfähigkeit 61.
— Verdichtbarkeit 59ff.
— zweite 65.
Emanationsbläschen 70.
Emanationssubstanz 24, 64.
Emanium 15.
Endprodukt der radioaktiven Umwandlung **83**, 90.
Energiequelle 88.
Entladungsgeschwindigkeit 12.
Epidermis, Zerstörung der 53.
Erhaltung der Energie 87.
Erklärung der radioaktiven Umwandlung 87.
E-Strahl 65.
Exponentialgesetz 74, 77, 80.

Färbungen 23.
Fehlerquellen 52.
Fluoreszenz 6, 8, 10, **37**.
Flußspat 37.
Fontaktoskop 72.

Gasentwicklung, radioaktive 44.
Gasgesetze 61.
Gesetz von Gay-Lussac 61.
Glocke, Elster und Geitelsche 49, 71, 79.
Grenzwert der mitgeteilten Aktivität 74.
Gültigkeit der Abklingungsgesetze **69**.

Helium 54, 61, 84, 87.
Helligkeitsempfindung 52.
Historische Übersicht 5.
Hochspannungsbatterie 78.

Index A, B, C usw. 81.
Induktion, magnetelektrisch 7

Induzierte Radioaktivität 73.
Ionen 47, 67.
Ionisation 11, 47.
Isolatoren 10, 12.

Kapazität 12.
Kathode 7.
Kathodenstrahlen 6.
— Ablenkung 7.
Korpuskeln 29, 35.
Korpuskulartheorie 89.
Krypton 61.
Kunzit 37.
Kupferfolie 13.

Lanthan 15.
Lebensdauer der Emanation 63, **66**.
— der mitgeteilten Aktivität 77, 78.
Leiter der Elektrizität 47.
Leitfähigkeit, Apparat zur Messung der 15.
— der Luft 12.
Leuchten der Lösungen 38.
— der Salze 38.
Lezithin 53.
Licht, Fortpflanzungsgeschwindigkeit 33.
— ultraviolettes 47, 53.
Löslichkeit der Emanation in Wasser 75.
— der mitgeteilten Aktivität 75.
Loslösungstrieb der Elektronen 90.

Masse, elektromagnetische 89.
Materie, strahlende 5.
Mineralien, radioaktive 17.
Molekel 88.
Moleküle 88.
Monazit 18.
Moserographie 45.
Moserstrahlen 45.

Natur der mitgeteilten Aktivität 75, 80.
Neon 61.
Nervensystem, Schädigung 54.
Normalverlust 50, 73.

Organische Stoffe, Zerstörung 52.
Ozon 43.

Papier, Zerstörung von 43.
Pechblende von Johanngeorgenstadt 18.
— von Joachimsthal 18.
— von Pzibram 18.
Perpetuum mobile 46.
Phosphor 19, 43.
Phosphoreszieren 12, 37.
Platte, photographische 13, **44**.
Plattenkondensator 15.
Polarisation 9, 13.
Polonium 14, 21, **23**, 45.
Poloniumhaltiges Wismut 23.

Quarz, piezoelektrischer 16, 34.
Quellwasser 70.
Quetschpumpe 71.

Rädchen, Kathodenstrahlengetriebenes 6.
Radioaktivität, Messung der 15, 50.
— mitgeteilte **73**.
Radioaktivitätskonstante 68.
Radioanalyse 19.
Radiographie 29, **44**.
Radiologie, therapeutische 53.
Radiotellur 14, 24.
Radiothor 15.
Radium 14, **22**.
— Atomgewicht 24.
— Aufbewahrung 26.
— chemische Eigenschaften **24**.
— Salze 25.
— Spektrum 25.
Radiumbromid 25, 42.
Radiumchlorid 25.
Radiumexplosion 46.
Radiumpräparate, Preis 26.
Reflexion 9, 13.
Rhumkorffscher Apparat 52.
Röhre, Crookessche 8
— „harte“ 10.
— luftverdünnte 5.
Röntgenaufnahme 10, 29.
Röntgenröhre 9.
Röntgenstrahlen 8, 12, 28, 53.
Rubidium 19.

Sättigungsstrom 48.
Sekundenuhr 79.
Selbstleuchten 38.
Sidotblende 35.
Spannungsreihe 76.
Spektralanalyse 19.
Spektralröhre 87.
Spektroskopischer Nachweis von Helium 87.
Spinthariskop 35.
Stoffe, radioaktive **14**.
Stoßwellen, elektromagnetische 9, 28.
Strahlen, α- 27, **33**, **36**.
— Ablenkbarkeit 27, 30.
— Absorption 34.
— β- 27, **30**, **36**.
— γ- 27, **28**, **36**.
— Geschwindigkeit 29, 33, 35.
— Intensität, Maß der 12.
— Ladung **31**, 35.
— undulatorische Natur der 10.
Strahlung, der Emanation 63.
— radioaktive **26**.
Strahlungserscheinungen 7.
Straß 38.
Szintillieren 35.

Tabellen 81ff.
Tellur 14, 24.
Thermalschlamm 15.
Thermolumineszenz 39.
Thor 14.
Thor X **54**.
Thorit 18.
Thorverbindungen, radioaktive 17.
Trinkkuren 70.

Umwandlung, radioaktive 54ff.
Untersuchungsmethode, elektroskopische 19.
— fluoreskopische 38.
— photographische 44.
Uran 13.
Uran X **54.**
Uranpechblende **14.**
Uranpecherz, Analyse 20.
Uranverbindungen 17.
Urstoff 89.

Vergleichswerte der Radioaktivität **17.**
Verringerung der radioaktiven Massen 91.
Verwertung der Abklingungsunterschiede **78.**
Volumen der Radiumemanation 69.
Vorkommen der Radiumemanation 70.

Wärmeentwicklung, Messung der 40.
Wärmemenge, radioaktive 42.
Wärmewirkungen 39.
Wasser, Dürkheimer 19.
— emanationshaltiges 70.
Wellenbewegung des Äthers 7.
Willemit 37.
Wirkungen, chemische 10, **43.**
— elektrische **47.**
— mechanische **45.**
— photographische **44,** 70.
— physiologische **52.**
Wismut 23.

Xenon 61.
X-Strahlen 8.

Zambonische Säule 78.
Zerfall der mitgeteilten Aktivitäten 80.
Zerfallstendenz 90.
Zerstreuungskörper 49.
Zinksulfid 36, 37.
Zirkulationsmethode 71.

Autorenregister.

Becquerel 13, 33, 35.
Bémont 14.
Bunsen 19.

Crookes 6, 35, 36, 55.
Curie 13, 37, 40, 41, 68, 73, 74.

Debierne 15, 64, 73.
Demarçay 25.
Des Coudres 35.
Dewar 41.
Dorn 59.

Elster 15, 35, 48, 70.
Engler 15, 50, 72.
Exner 11.

Faraday 5.

Gay-Lussac 61.
Geitel 15, 35, 48, 70.
Giesel 15, 23, 64.

Hahn 15.
Hertz 7.
Himstedt 71, 87.

Kaufmann 33.
Kirchhoff 19.

Laborde 40.

Markwald 14, 23.
Maxwell 7.
Meyer, G. 87.

Newton 7

Precht 25.

Ramsay 15, 69, 84, 85.
Rhumkorff 52.
Röntgen 8.
Runge 25.
Rutherford 27, 35, 55, 60, 63, 66, 73, 74, 75, 78, 84.

Schmidt 14, 73.
Sieveking 50, 72.
Soddy 55, 60, 66, 69, 84 85.
Strutt 46.

Thomson 70, 89.

Wilson 48.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Verzeichnis der erschienenen Bände.

Ackerbau- u. Pflanzenbaulehre von Dr. Paul Rippert in Berlin u. Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 232.

Agrikulturchemische Kontrollwesen, Das, von Dr. Paul Krische in Göttingen. Nr. 304.

Akustik. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik u. Akustik. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Univers. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

— **Musikalische**, v. Dr. Karl L. Schäfer, Dozent an der Univers. Berlin. Mit 35 Abbild. Nr. 21.

Algebra. Arithmetik u. Algebra v. Dr. H. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

Alpen, Die, von Dr. Rob. Sieger, Prof. an der Universität und an der Exportakademie des k. k. Handelsmuseums in Wien. Mit 19 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 129.

Altertümer, Die deutschen, v. Dr. Franz Fuhse, Direktor d. städt. Museums in Braunschweig. Mit 70 Abb. Nr. 124.

Altertumskunde, Griechische, von Prof. Dr. Rich. Maisch, neubearb. von Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.

— **Römische**, von Dr. Leo Bloch in Wien. Mit 8 Vollb. Nr. 45.

Analyse, Techn.-Chem., von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgen. Polytechn. Schule i. Zürich. Mit 16 Abb. Nr. 195.

Analysis, Höhere, I: Differentialrechnung. Von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.

— — — Repetitorium und Aufgabensammlung z. Differentialrechnung v. Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 46 Fig. Nr. 146.

— — **II:** Integralrechnung. Von Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 89 Fig. Nr. 88.

Analysis, Höhere, Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 50 Fig. Nr. 147.

— **Niedere**, von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Ehingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.

Arbeiterfrage, Die gewerbliche, von Werner Sombart, Prof. an der Univ. Breslau. Nr. 209.

Arbeiterversicherung, Die, von Dr. Alfred Manes in Berlin. Nr. 267.

Arithmetik und Algebra von Dr. Herm. Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

— — Beispielsammlung zur Arithmetik u. Algebra v. Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.

Ästhetik, Allgemeine, von Prof. Dr. Max Diez, Lehrer an d. Kgl. Akademie der bildenden Künste in Stuttgart. Nr. 300.

Astronomie. Größe, Bewegung und Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neu bearb. v. Dr. W. F. Wislicenus, Prof. a. d. Univers. Straßburg. Mit 36 Abb. u. 1 Sternk. Nr. 11.

Astrophysik. Die Beschaffenheit der Himmelskörper von Dr. Walter F. Wislicenus, Prof. an der Universität Straßburg. Mit 11 Abbild. Nr. 91.

Aufgabensammlg. z. Analyt. Geometrie d. Ebene v. O. Th. Bürklen, Prof. am Realgymnasium in Schw.-Gmünd. Mit 32 Figuren. Nr. 256.

— — **d. Raumes** von O. Th. Bürklen, Prof am Realgymnasium in Schw.-Gmünd. Mit 8 Fig. Nr. 309.

— **Physikalische**, v. G. Mahler, Prof. der Mathem. u. Physik am Gymnas. in Ulm. Mit d. Resultaten. Nr. 243.

Aufsatzentwürfe von Oberstudienrat Dr. L. W. Straub, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart. Nr. 17.

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate von Wilh. Weitbrecht, Prof. der Geodäsie in Stuttgart. Mit 15 Figuren und 2 Tafeln. Nr 302.

Baukunst, Die, des Abendlandes von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbild. Nr. 74.

Betriebskraft, Die zweckmäßigste, von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. 1. Teil: Die mit Dampf betriebenen Motoren nebst 22 Tabellen über ihre Anschaffungs- und Betriebskosten. Mit 14 Abbild. Nr. 224.

— — 2. Teil: Verschiedene Motoren nebst 22 Tabellen über ihre Anschaffungs- und Betriebskosten. Mit 29 Abbild. Nr. 225.

Bewegungsspiele von Dr. E. Kohlrausch, Prof. am Kgl. Kaiser Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 14 Abbild. Nr. 96.

Biologie der Pflanzen von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 127.

Biologie der Tiere I: Entstehung u. Weiterbild. d. Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur v. Dr. Heinr. Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.

— **II:** Beziehungen der Tiere z. organ. Natur von Dr. Heinr. Simroth, Prof. an der Univers. Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.

Bleicherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Wilhelm Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. Paul Dreverhoff, Direktor d. Brauer- u. Mälzerschule zu Grimma. Mit 16 Abbild. Nr. 303.

Buchführung in einfachen und doppelten Posten von Rob. Stern, Oberlehrer der Öffentl. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule z. Leipzig. Mit vielen Formularen. Nr. 115.

Buddha von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.

Burgenkunde, Abriß der, von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbild. Nr. 119.

Chemie, Allgemeine und physikalische, von Dr. Max Rudolphi, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Fig. Nr. 71.

— **Analytische,** von Dr. Johannes Hoppe. I: Theorie und Gang der Analyse. Nr. 247.

— — **II:** Reaktion der Metalloide und Metalle. Nr. 248.

— **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.

— — siehe auch: Metalle. — Metalloide.

Chemie, Geschichte der, von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis zur Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.

— **II:** Von Lavoisier bis zur Gegenwart. Nr. 265.

— **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.

— — **III:** Karbocyklische Verbindungen. Nr. 193.

— — **IV:** Heterocyklische Verbindungen. Nr. 194.

— **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.

— **Physiologische,** von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.

— — **II:** Dissimilation. Mit einer Tafel. Nr. 241.

Chemisch-Technische Analyse von Dr. G. Lunge, Prof. an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.

Dampfkessel, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 67 Fig. Nr. 9.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Dampfmaschine, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch m. Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 48 Fig. Nr. 8.

Dampfturbinen, Die, ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ingenieur Hermann Wilda in Bremen. Mit 89 Abbild. Nr. 274.

Dichtungen a. mitteldeutscher Frühzeit. In Auswahl m. Einltg. u. Wörterb. herausgegeb. v. Dr. Herm. Jantzen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 137.

Dietrichepen. Kudrun u. Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Prof. an der Univers. Münster. Nr. 10.

Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. a. Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.

— Repetitorium u. Aufgabensammlung z. Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 46 Fig. Nr. 146.

Eddalieder mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasial-Oberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.

Eisenhüttenkunde von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Tafeln. Nr. 152.

-- II. Teil: Das Schmiedeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

Elektrizität. Theoret. Physik III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. a. d. Univers. Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.

Elektrochemie von Dr. Heinr. Danneel, Privatdozent in Breslau. I. Teil: Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 18 Fig. Nr. 252.

Elektrotechnik. Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor der Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 47 Fig. Nr. 196.

Elektrotechnik II: Die Gleichstromtechnik. Mit 74 Fig. Nr. 197.

— **III:** Die Wechselstromtechnik. Mit 109 Fig. Nr. 198.

Epigonen, Die, des höfischen Epos. Auswahl aus deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junk, Aktuarius der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.

Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht von Dr. A. Nippoldt jr., Mitglied des Königl. Preußischen Meteorologischen Instituts zu Potsdam. Mit 14 Abbild. und 3 Taf. Nr. 175.

Ethik von Professor Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.

Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen von Dr. W. Migula, Professor an der Forstakademie Eisenach. 1. Teil. Mit 50 Abbild. Nr. 268.

— — 2. Teil. Mit 50 Abbild. Nr. 269.

Familienrecht. Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches. Viertes Buch: Familienrecht von Dr Heinrich Titze, Prof. a. d. Univ. Göttingen. Nr. 305.

Färberei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei u. ihre Hilfsstoffe v. Dr. Wilh. Massot, Lehrer a. d. Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie i. Krefeld. M. 28 Fig. Nr. 186.

Feldgeschütz, Das moderne, I: Die Entwicklung des Feldgeschützes seit Einführung des gezogenen Infanteriegewehrs bis einschließlich der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1850 bis 1890, von Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer an der Militärtechn. Akademie in Berlin. Mit 1 Abbild. Nr. 306.

— — **II:** Die Entwicklung des heutigen Feldgeschützes auf Grund der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1890 bis zur Gegenwart, von Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer an der Militärtechn. Akademie in Berlin. Mit 11 Abbild. Nr. 307.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Fernsprechwesen, Das, von Dr. Ludwig Kellstab in Berlin. Mit 47 Fig. und 1 Tafel. Nr. 155.

Festigkeitslehre von W. Hauber, Diplom-Ingenieur. Mit 56 Fig. Nr. 288.

Filzfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Finanzwissenschaft v. Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. Nr. 148.

Fischerei und Fischzucht v. Dr. Karl Eckstein, Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.

Formelsammlung, Mathemat., u. Repetitorium d. Mathematik, enth. die wichtigsten Formeln und Lehrsätze d. Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen u. sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie d. Ebene u. d. Raumes, d. Different.- u. Integralrechn. v. O. Th. Bürklen, Prof. am Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig Nr. 51.

— **Physikalische,** von G. Mahler, Prof. a. Gymn. in Ulm. Mit 65 Fig. Nr. 136.

Forstwissenschaft von Dr. Ad. Schwappach, Professor an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 106.

Fremdwort, Das, im Deutschen von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 55.

Fremdwörterbuch, Deutsches, von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 273.

Gardinenfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Geodäsie von Dr. C. Reinhertz, Prof. an der Techn. Hochschule Hannover. Mit 66 Abbild. Nr. 102.

Geographie, Astronomische, von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Techn Hochschule in München. Mit 52 Abbild. Nr. 92.

— **Physische,** von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Königl. Techn. Hochschule in München. Mit 32 Abbild. Nr. 26.

— s. auch: Landeskunde. — Länderkunde.

Geologie von Prof. Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. und 4 Taf. mit über 50 Fig. Nr 13.

Geometrie, Analytische, der Ebene von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 57 Fig. Nr. 65.

— —**Aufgabensammlung zur Analytischen Geometrie der Ebene** von O. Th. Bürklen, Prof. am Kgl. Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Mit 32 Fig. Nr. 256.

— **Analytische, des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 28 Abbild. Nr. 89.

— — **Aufgabensammlung z. Analyt. Geometrie d. Raumes** von O. Th. Bürklen, Prof. a. Realgymn. i. Schwäb.-Gmünd. M. 8 Fig. Nr. 300.

— **Darstellende,** von Dr. Robert Haußner, Prof. an der Univ. Jena. I. Mit 110 Fig. Nr. 142.

— **Ebene,** von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarb. Fig. Nr. 41.

— **Projektive,** in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 91 Fig. Nr. 72.

Geschichte, Badische, von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnasium in Pforzheim und Privatdozent der Geschichte an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.

— **Bayerische,** von Dr. Hans Ockel in Augsburg. Nr. 160.

— **des Byzantinischen Reiches** von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.

— **Deutsche, 1: Mittelalter** (bis 1519) von Dr. F. Kurze, Prof. am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 33.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Geschichte, Deutsche II: Zeitalter der Reformation und der Religionskriege (1500—1648) von Dr. F. Kurze, Professor am Königl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 34.

— — **III: Vom Westfälischen Frieden bis zur Auflösung des alten Reichs** (1648—1806) von Dr. F. Kurze, Prof. am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 35.

— — siehe auch: Quellenkunde.

— **Französische**, von Dr. R. Sternfeld, Prof. a. d. Univers. Berlin. Nr. 85.

— **Griechische**, von Dr. Heinrich Swoboda, Prof. an der deutschen Univers. Prag. Nr. 49.

— **des 19. Jahrhunderts** v. Oskar Jäger, o. Honorarprofessor an der Univers. Bonn. 1. Bdchn.: 1800—1852. Nr. 216.

— — 2. Bdchn.: 1853 bis Ende d. Jahrh. Nr. 217.

— **Israels** bis auf die griech. Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.

— **Lothringens**, von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.

— **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Prof. a. d. Univers. München. M. 6 Bild. u. 1 Kart. Nr. 43.

— **Oesterreichische, I:** Von der Urzeit bis zum Tode König Albrechts II. (1439) von Prof. Dr. Franz von Krones, neubearbeitet von Dr. Karl Uhlirz, Prof. an der Univ. Graz. Mit 11 Stammtaf. Nr. 104.

— — **II:** Von 1526 bis zur Gegenwart von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. a. d. Univers. Graz. Nr. 105.

— **Römische**, von Realgymnasial-Dir. Dr. Jul. Koch in Grunewald. Nr. 19.

— **Russische**, v. Dr. Wilh. Reeb, Oberl. am Ostergymnasium in Mainz. Nr. 4.

— **Sächsische**, von Professor Otto Kaemmel, Rektor des Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.

— **Schweizerische**, von Dr. K. Dändliker, Prof. a. d. Univ. Zürich. Nr. 188.

— **Spanische**, von Dr. Gustav Diercks. Nr. 266.

— **der Chemie** siehe: Chemie.

Geschichte der Malerei siehe: Malerei.

— **der Mathematik** s.: Mathematik.

— **der Musik** siehe: Musik.

— **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.

— **der Physik** siehe: Physik.

— **des deutschen Romans** s.: Roman.

— **der deutschen Sprache** siehe: Grammatik, Deutsche.

— **des deutschen Unterrichtswesens** siehe: Unterrichtswesen.

Geschichtswissenschaft, Einleitung in die, von Dr. Ernst Bernheim, Prof. an der Univers. Greifswald. Nr. 270.

Gesetzbuch, Bürgerliches. Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches, viertes Buch: Familienrecht, von Dr Heinr. Titze, Prof. an d. Univers. Göttingen. Nr. 305.

Gesundheitslehre. Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.

Gewerbewesen von Werner Sombart, Prof. an d. Univers. Breslau. I. II. Nr. 203. 204.

Gewichtswesen. Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Gleichstrommaschine, Die, von C. Kinzbrunner, Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik an der Municipal School of Technology in Manchester. Mit 78 Fig. Nr. 257.

Gletscherkunde von Dr. Fritz Machaček in Wien. Mit 5 Abbild. im Text und 11 Taf. Nr. 154.

Gottfried von Straßburg. Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach u. Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Kgl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Grammatik, Deutsche, und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Professor Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.

— **Griechische,** I: Formenlehre von Dr. Hans Meltzer, Prof. an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 117.

— — II: Bedeutungslehre und Syntax von Dr. Hans Meltzer, Prof. an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 118.

— **Lateinische.** Grundriß der lateinischen Sprachlehre von Prof. Dr. W. Votsch in Magdeburg. Nr. 82.

— **Mittelhochdeutsche.** Der Nibelunge Nôt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Prof. an der Univers. Rostock. Nr. 1.

— **Russische,** von Dr. Erich Berneker, Prof. an der Univers. Prag. Nr. 66.

— — siehe auch: Russisches Gesprächsbuch. — Lesebuch.

Handelskorrespondenz, Deutsche, von Prof. Th. de Beaux, Officier de l'Instruction Publique. Nr. 182.

— **Englische,** von E. E. Whitfield, M. A., Oberlehrer an King Edward VII Grammar School in King's Lynn. Nr. 237.

— **Französ.** von Prof. Th. de Beaux, Officier de l'Instruction Publique. Nr. 183.

— **Italienische,** von Prof. Alberto de Beaux, Oberlehrer am Kgl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Nr. 219.

— **Spanische,** von Dr. Alfredo Nadal de Mariezcurrena. Nr. 295.

Handelspolitik, Auswärtige, von Dr. Heinr. Sieveking, Prof. an der Univers. Marburg. Nr. 215.

Handelswesen, Das, von Dr. Wilh. Lexis, Prof. a. d. Univers. Göttingen. I: Das Handelspersonal und der Warenhandel. Nr. 296.

— — II: Die Effektenbörse und die innere Handelspolitik. Nr. 297.

Harmonielehre von A. Halm. Mit vielen Notenbeilagen. Nr. 120.

Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und **Gottfried von Straßburg.** Auswahl aus dem höfischen Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Königlichen Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.

Hauptliteraturen, Die, d. Orients v. Dr. M. Haberlandt, Privatdoz. a. d. Univers. Wien. I. II. Nr. 162. 163.

Heldensage, Die deutsche, von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Prof. an der Univers. Münster. Nr. 32.

— siehe auch: Mythologie.

Industrie, Anorganische Chemische, v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I: Die Leblancsodaindustrie und ihre Nebenzweige. Mit 12 Taf. Nr. 205.

— — II: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie und Verwandtes. Mit 6 Taf. Nr. 206.

— — III: Anorganische Chemische Präparate. Mit 6 Tafeln. Nr. 207.

— **der Silikate, der künstl. Bausteine und des Mörtels.** I: Glas- und keramische Industrie von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Taf. Nr. 233.

— — II: Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Mit 12 Taf. Nr. 234.

Integralrechnung von Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsgymn. in Stuttgart. Mit 89 Fig. Nr. 88.

Integralrechnung. Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Friedrich Junker, Prof. am Karlsgymn. in Stuttgart. Mit 50 Fig. Nr. 147.

Kartenkunde, geschichtlich dargestellt von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Lussinpiccolo und F. Sauter, Prof. am Realgymn. in Ulm, neu bearb. von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abbild. Nr. 30.

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Kirchenlied. Martin Luther, Thom. Murner, und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Klimakunde I: Allgemeine Klimalehre von Prof. Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Taf. und 2 Fig. Nr. 114.

Kolonialgeschichte von Dr. Dietrich Schäfer, Prof. der Geschichte an der Univers. Berlin. Nr. 156.

Kompositionslehre. Musikalische Formenlehre von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

Kontrollwesen, Das agrikulturchemische, von Dr. Paul Krische in Göttingen. Nr. 304.

Körper, der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbild. und 1 Taf. Nr. 18.

Kristallographie von Dr. W. Bruhns, Prof. an der Univers. Straßburg. Mit 190 Abbild. Nr. 210.

Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Prof. an der Univers. Münster. Nr. 10.

— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.

Kultur, Die, der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Privatdozent an der Univers. Wien. Nr. 189.

Kulturgeschichte, Deutsche, von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

Künste, Die graphischen, von Carl Kampmann, Fachlehrer a. d. k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbild. und Beilagen. Nr. 75.

Kurzschrift siehe: Stenographie.

Länderkunde von Europa von Dr. Franz Heiderich, Prof. am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.

— **der außereuropäischen Erdteile** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textkärtchen u. Profil. Nr. 63.

Landeskunde von Baden von Prof. Dr. O. Kienitz in Karlsruhe. M. Profil, Abbild. und 1 Karte. Nr. 199.

— **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 176.

— **von Britisch-Nordamerika** von Prof. Dr. A. Oppel in Bremen. Mit 13 Abbild. und 1 Karte. Nr. 284.

— **von Elsaß-Lothringen** von Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbildgn. u. 1 Karte. Nr. 215.

— **der Iberischen Halbinsel** von Dr. Fritz Regel, Prof. an der Univers. Würzburg. Mit 8 Kärtchen und 8 Abbild. im Text und 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.

— **von Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Professor an der Univers. Berlin. Mit 10 Textillustration. und 1 Karte. Nr. 244.

— **des Königreichs Sachsen** v. Dr. J. Zemmrich, Oberlehrer am Realgymnas. in Plauen. Mit 12 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 258.

— **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen und Dänemark) von Heinrich Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbild. und 1 Karte. Nr. 202.

— **des Königreichs Württemberg** von Dr. Kurt Hassert, Prof. der Geographie an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern u. 1 Karte. Nr. 157.

Landwirtschaftliche Betriebslehre von Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 227.

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert. Kulturhistorische Erläuterungen zum Nibelungenlied und zur Kudrun. Von Prof. Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. Mit 1 Taf. und 30 Abbild. Nr. 93.

Lessings Emilia Galotti. Mit Einleitung und Anmerkungen von Prof. Dr. W. Votsch. Nr. 2.

— **Minna v. Barnhelm.** Mit Anm. von Dr. Tomaschek. Nr. 5.

Licht. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Univers. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

Literatur, Althochdeutsche, mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Th. Schauffler, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.

Literaturdenkmäler des 14. u. 15. Jahrhunderts. Ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Jantzen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 181.

— **des 16. Jahrhunderts I: Martin Luther, Thom. Murner u. das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

— — **II: Hans Sachs.** Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.

— — **III: Von Brant bis Rollenhagen: Brant, Hutten, Fischart, sowie Tierepos und Fabel.** Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 36.

Literaturen, Die, des Orients. I. Teil: Die Literaturen Ostasiens und Indiens v. Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Univers. Wien. Nr. 162.

— II. Teil: Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken, von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Univers. Wien. Nr. 163.

Literaturgeschichte, Deutsche, von Dr. Max Koch, Professor an der Univers. Breslau. Nr. 31.

— **Deutsche, der Klassikerzeit** von Carl Weitbrecht, Prof. an der Techn. Hochschule Stuttgart. Nr. 161.

— **Deutsche, des 19. Jahrhunderts** von Carl Weitbrecht, Prof. an der Techn. Hochschule Stuttgart. I. II. Nr. 134. 135.

— **Englische,** von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.

— — Grundzüge und Haupttypen der englischen Literaturgeschichte von Dr. Arnold M. M. Schröer, Prof. an der Handelshochschule in Köln. 2 Teile. Nr. 286. 287.

— **Griechische,** mit Berücksichtigung der Geschichte der Wissenschaften von Dr. Alfred Gercke, Prof. an der Univers. Greifswald. Nr. 70.

— **Italienische,** von Dr. Karl Voßler, Prof. an der Univers. Heidelberg. Nr. 125.

— **Nordische,** I. Teil: Die isländische und norwegische Literatur des Mittelalters von Dr. Wolfgang Golther, Prof. an d. Univers. Rostock. Nr. 254.

— **Portugiesische,** von Dr. Karl von Reinhardstoettner, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule München. Nr. 218.

— **Römische,** von Dr. Hermann Joachim in Hamburg. Nr. 52.

— **Russische,** von Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.

— **Slavische,** von Dr. Josef Karásek in Wien. 1. Teil: Ältere Literatur bis zur Wiedergeburt. Nr. 277.

— — 2. Teil: Das 19. Jahrh. Nr. 278.

— **Spanische,** von Dr. Rudolf Beer in Wien. I. II. Nr. 167. 168.

Logarithmen. Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches und trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 81.

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Logik. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Luther, Martin, Thom. Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaignmnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Magnetismus. Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univers. Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.

Malerei, Geschichte der, I. II. III. IV. V. von Dr. Rich. Muther, Prof. an d. Univers. Breslau. Nr. 107—111.

Mälzerei. Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. P. Dreverhoff, Direktor d. Öffentl. u. l. Sächs. Versuchsstat. für Brauerei u. Mälzerei, sowie der Brauer- u. Mälzerschule zu Grimma. Nr. 303.

Maschinenelemente, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Fr. Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.

Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. August Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Maßanalyse von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Nr. 221.

Materialprüfungswesen. Einführ. i. d. mod. Technik d. Materialprüfung von K. Memmler, Diplomingenieur. Ständ. Mitarbeiter a. Kgl. Material-Prüfungsamte zu Groß-Lichterfelde. I: Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel f. Festigkeitsversuche. Mit 58 Fig. Nr. 311. — — II: Metallprüfung u. Prüfung v. Hilfsmaterialien d. Maschinenbaues — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Fig. Nr. 312.

Mathematik, Geschichte der, von Dr. A. Sturm, Professor am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.

Mechanik. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

Meereskunde, Physische, von Dr. Gerhard Schott, Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Taf. Nr. 112.

Messungsmethoden, Physikalische v. Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Fig. Nr. 301.

Metalle (Anorganische Chemie 2. Teil) v. Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Königl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.

Metalloide (Anorganische Chemie 1. Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.

Metallurgie von Dr. Aug Geitz, diplom. Chemiker in München, I. II. Mit 21 Fig. Nr. 313. 314.

Meteorologie von Dr. W. Trabert, Prof. an der Univers. Innsbruck. Mit 49 Abbild. und 7 Taf. Nr. 54.

Mineralogie von Dr. R. Brauns, Prof. an der Univers. Kiel. Mit 130 Abbild. Nr. 29.

Minnesang und Spruchdichtung. Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. an der Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

Morphologie, Anatomie u. Physiologie der Pflanzen. Von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 141.

Münzwesen. Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Prof an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Murner, Thomas. Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberl. am Nikolaigymn. zu Leipzig. Nr. 7.

Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen, von Dr. A. Möhler. Mit zahlreichen Abbild. und Musikbeilagen. Nr. 121.

Musikalische Formenlehre (Kompositionslehre) v. Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

Musikgeschichte des 17. und 18. Jahrhunderts von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. Nr. 239.

— **des 19. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164. 165.

Musiklehre, Allgemeine, v. Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.

Mythologie, Germanische, von Dr. Eugen Mogk, Prof. an der Univers. Leipzig. Nr. 15.

— **Griechische und römische,** von Dr. Herm. Steuding, Prof. am Kgl. Gymnasium in Wurzen. Nr. 27.

— siehe auch: Heldensage.

Nautik. Kurzer Abriß des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigations-Schule zu Lübeck. Mit 56 Abbild. Nr. 84.

Nibelunge, Der, Nöt in Auswahl und Mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Prof. an der Univ. Rostock. Nr. 1.

— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.

Nutzpflanzen von Prof. Dr. J. Behrens, Vorst. d. Großh. landwirtschaftl. Versuchsanst. Augustenberg. Mit 53 Fig. Nr. 123.

Pädagogik im Grundriß von Prof. Dr. W. Rein, Direktor des Pädagog. Seminars an der Univ. Jena. Nr. 12.

— **Geschichte der,** von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.

Paläontologie v. Dr. Rud. Hoernes, Prof. an der Univ. Graz. Mit 87 Abbild. Nr. 95.

Parallelperspektive. Rechtwinklige und schiefwinklige Axonometrie von Prof. J. Vonderlinn in Breslau. Mit 121 Fig. Nr. 260.

Perspektive nebst einem Anhang üb. Schattenkonstruktion und Parallelperspektive von Architekt Hans Freyberger, Oberl. an der Baugewerkschule Köln. Mit 88 Abbild. Nr. 57.

Petrographie von Dr W. Bruhns, Prof. a. d. Univers. Straßburg i. E. Mit 15 Abbild. Nr. 173.

Pflanze, Die, ihr Bau und ihr Leben von Oberlehrer Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbild. Nr. 44.

Pflanzenbiologie von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 127.

Pflanzenkrankheiten v. Dr. Werner Friedrich Bruck in Gießen. Mit 1 farb. Taf. u. 45 Abbild. Nr. 310.

Pflanzen-Morphologie, -Anatomie und -Physiologie von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakad. Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 141.

Pflanzenreich, Das. Einteilung des gesamten Pflanzenreichs mit den wichtigsten und bekanntesten Arten von Dr. F. Reinecke in Breslau und Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakad. Eisenach. Mit 50 Fig. Nr. 122.

Pflanzenwelt, Die, der Gewässer von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 158.

Pharmakognosie. Von Apotheker F. Schmitthenner, Assistent am Botan. Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe. Nr. 251.

Philosophie, Einführung in die, von Dr. Max Wentscher, Prof. a. d. Univers. Königsberg. Nr. 281.

— Psychologie und Logik zur Einführ. in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Photographie, Die. Von H. Keßler, Prof. an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Taf. und 52 Abbild. Nr. 94.

Physik, Theoretische, I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univers. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

— — II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

— — III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univers. Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.

— **Geschichte der,** von A. Kistner, Prof. an der Großh. Realschule zu Sinsheim a. E. I: Die Physik bis Newton. Mit 13 Fig. Nr. 293.

— — II: Die Physik von Newton bis zur Gegenwart. Mit 3 Fig. Nr. 294.

Physikalische Aufgabensammlung von G. Mahler, Prof. d. Mathem. u. Physik am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.

Physikalische Formelsammlung von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Mit 65 Fig. Nr. 136.

Physikalische Messungsmethoden v. Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Fig. Nr 301.

Plastik, Die, des Abendlandes von Dr. Hans Stegmann, Konservator am German. Nationalmuseum zu Nürnberg. Mit 23 Taf. Nr. 116.

Poetik, Deutsche, von Dr. K. Borinski, Prof. a. d. Univ. München. Nr. 40.

Posamentiererei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Ind. zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Psychologie und Logik zur Einführ. in die Philosophie, von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Psychophysik, Grundriß der, von Dr. G. F. Lipps in Leipzig. Mit 3 Fig. Nr. 98.

Pumpen, hydraulische und pneumatische Anlagen. Ein kurzer Überblick von Regierungsbaumeister Rudolf Vogdt, Oberlehrer an der kgl. höheren Maschinenbauschule in Posen. Mit zahlr. Abbild. Nr. 290.

Quellenkunde zur deutschen Geschichte von Dr. Carl Jacob, Prof. an der Univers. Tübingen. 2 Bde. Nr. 279. 280.

Rechnen, Kaufmännisches, von Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139. 140. 187.

Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches. Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Titze, Prof. an der Univers. Göttingen. Nr. 305.

Rechtslehre, Allgemeine, von Dr. Th. Sternberg, Privatdoz. an der Univers. Lausanne. I: Die Methode. Nr. 169.

— II: Das System. Nr. 170.

Rechtsschutz, Der internationale gewerbliche, von J. Neuberg, Kaiserl. Regierungsrat, Mitglied des Kaiserl. Patentamts zu Berlin. Nr. 271.

Redelehre, Deutsche, v. Hans Probst, Gymnasialprof. in Bamberg. Mit einer Taf. Nr. 61.

Religionsgeschichte, Alttestamentliche, von D. Dr. Max Löhr, Prof. an der Univers. Breslau. Nr. 292.

— **Indische,** von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 83.

— — siehe auch Buddha.

Religionswissenschaft, Abriß der vergleichenden, von Prof. Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.

Renaissance. Die Kultur d. Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Privatdoz. an der Univ. Wien. Nr. 189.

Roman. Geschichte d. deutschen Romans von Dr. Hellmuth Mielke. Nr. 229.

Russisch-Deutsches Gesprächsbuch von Dr. Erich Berneker, Prof. an der Univers. Prag. Nr. 68.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Russisches Lesebuch mit Glossar von Dr. Erich Berneker, Prof. an der Univers. Prag. Nr. 67.

— — siehe auch: Grammatik.

Sachs, Hans. Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 24.

Säugetiere. Das Tierreich I: Säugetiere von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart Mit 15 Abbild. Nr. 282.

Schattenkonstruktionen v. Prof. J. Vonderlinn in Breslau. Mit 114 Fig. Nr. 236.

Schmarotzer u. Schmarotzertum in der Tierwelt. Erste Einführung in die tierische Schmarotzerkunde v. Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. a. d. Univers. Gießen. Mit 67 Abbild. Nr. 151.

Schule, Die deutsche, im Auslande, von Hans Amrhein in Halle a. S. Nr. 259.

Schulpraxis. Methodik der Volksschule von Dr. R. Senfert, Seminaroberlehrer in Annaberg. Nr. 50.

Simplicius Simplicissimus von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgegeb. von Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Univers. Breslau. Nr. 138.

Sociologie von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 101.

Spitzenfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Kgl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Sprachdenkmäler, Gotische, mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen v. Dr. Herm. Jantzen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 79.

Sprachwissenschaft, Germanische, v. Dr. Rich. Loewe in Berlin. Nr. 238.

— **Indogermanische,** v. Dr. R. Meringer, Prof. a. d. Univ. Graz. Mit einer Taf. Nr. 59.

Sprachwissenschaft, Romanische, von Dr. Adolf Zauner, Privatdozent an der Univers. Wien. I: Lautlehre u. Wortlehre I. Nr. 128.

— — II: Wortlehre II u. Syntax. Nr. 250.

— **Semitische,** von Dr. C. Brockelmann, Prof. an der Univers. Königsberg. Nr. 291.

Staatsrecht, Preußisches, von Dr. Fritz Stier-Somlo, Prof. an der Univers. Bonn. 2 Teile. Nr. 298 u. 299.

Stammeskunde, Deutsche, von Dr. Rudolf Much, a. o. Prof. an der Univers Wien. Mit 2 Karten und 2 Taf. Nr. 126.

Statik, I. Teil: Die Grundlehren der Statik starrer Körper v. W. Hauber, Diplom.-Ing. Mit 82 Fig. Nr. 178.

— II. Teil: Angewandte Statik. Mit 61 Fig. Nr. 179.

Stenographie nach dem System von F. X. Gabelsberger von Dr. Albert Schramm, Mitglied des Kgl. Stenogr. Instituts Dresden. Nr. 246.

— Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig.-System Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Lesestücken u. einem Anhang v. Dr. Amsel, Oberlehrer des Kadettenhauses Oranienstein. Nr. 86.

Stereochemie von Dr. E. Wedekind, Prof. an der Univers. Tübingen. Mit 34 Abbild. Nr. 201.

Stereometrie von Dr. R. Glaser in Stuttgart. Mit 44 Fig. Nr. 97.

Stilkunde von Karl Otto Hartmann, Gewerbeschulvorstand in Lahr. Mit 7 Vollbildern und 195 Text-Illustrationen. Nr. 80.

Technologie, Allgemeine chemische, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.

Teerfarbstoffe, Die, mit besonderer Berücksichtigung der synthetischen Methoden von Dr. Hans Bucherer, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 214.

Telegraphie, Die elektrische, von Dr. Lud. Kellstab. M. 19 Fig. Nr. 172.

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Testament. Die Entstehung des Alten Testaments von Lic. Dr. W. Staerk in Jena. Nr. 272.

— Die Entstehung des Neuen Testaments von Prof. Lic. Dr. Carl Clemen in Bonn. Nr. 285.

Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Dir. der Königlichen Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

— **III:** Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Thermodynamik (Technische Wärmelehre) von K. Walther und M. Röttinger, Dipl.-Ingenieuren. Mit 54 Fig. Nr. 242.

Tierbiologie I: Entstehung und Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Univers. Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.

— **II:** Beziehungen der Tiere zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Univers. Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.

Tiergeographie von Dr. Arnold Jacobi, Prof. der Zoologie an der Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.

Tierkunde v. Dr. Franz v. Wagner, Prof. an der Univers. Gießen. Mit 78 Abbild. Nr. 60.

Tierreich, Das, I: Säugetiere von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Mit 15 Abbild. Nr. 282.

Tierzuchtlehre, Allgemeine und spezielle, von Dr. Paul Rippert in Berlin. Nr. 228.

Trigonometrie, Ebene und sphärische, von Dr. Gerh. Hessenberg, Privatdoz. an der Techn. Hochschule in Berlin. Mit 70 Fig. Nr. 99.

Unterrichtswesen, Das öffentliche, Deutschlands i. d. Gegenwart von Dr. Paul Stötzner, Gymnasialoberlehrer in Zwickau. Nr. 130.

— **Geschichte des deutschen Unterrichtswesens** von Prof. Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Kgl. Gymnasiums zu Luckau. I. Teil: Von Anfang an bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Nr. 275.

— — II. Teil: Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis auf die Gegenwart. Nr. 276.

Urgeschichte der Menschheit v. Dr. Moriz Hoernes, Prof. an der Univ. Wien. Mit 53 Abbild. Nr. 42.

Urheberrecht, Das deutsche, an literarischen, künstlerischen und gewerblichen Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internationalen Verträge von Dr. Gustav Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 263.

Versicherungsmathematik von Dr. Alfred Loewy, Prof. an der Univ. Freiburg i. B. Nr. 180.

Versicherungswesen, Das, von Dr. iur. Paul Moldenhauer, Dozent der Versicherungswissenschaft an der Handelshochschule Köln. Nr. 262.

Völkerkunde von Dr. Michael Haberlandt, k. u. k. Kustos der ethnogr. Sammlung des naturhistor. Hofmuseums u. Privatdoz. an d. Univers. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.

Volkslied, Das deutsche, ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 25.

Volkswirtschaftslehre v. Dr. Carl Johs. Fuchs, Prof. an der Univers. Freiburg i. B. Nr. 133.

Volkswirtschaftspolitik von Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. Nr. 177.

Waltharilied, Das, im Versmaße der Urschrift übersetzt und erläutert von Prof. Dr. H. Althof, Oberlehrer a. Realgymnasium i. Weimar. Nr. 46

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und a. d. Techn. Hochsch. in Stuttgart. Nr. 23.

Warenkunde, von Dr. Karl Hassack, Professor an der Wiener Handelsakademie. I. Teil: Unorganische Waren. Mit 40 Abbild. Nr. 222.

— II. Teil: Organische Waren. Mit 36 Abbild. Nr. 223.

Wärme. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univers. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

Wärmelehre, Technische, (Thermodynamik) von K. Walther u. M. Röttinger, Dipl.-Ingenieure. Mit 54 Fig. Nr. 242.

Wäscherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Wasser, Das, und seine Verwendung in Industrie und Gewerbe von Dr. Ernst Leher, Dipl.-Ingen. in Saalfeld. Mit 15 Abbild. Nr. 261.

Weberei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Wirkerei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

Wolfram von Eschenbach. Hartmann v. Aue, Wolfram v. Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Königl. Friedrichskolleg. z. Königsberg i. Pr. Nr. 22.

Wörterbuch nach der neuen deutschen Rechtschreibung von Dr. Heinrich Klenz. Nr. 200.

— **Deutsches,** von Dr. Ferd. Detter, Prof. an der Universität Prag. Nr. 64.

Zeichenschule von Prof. K. Kimmich in Ulm. Mit 18 Taf. in Ton-, Farben- und Golddruck u. 200 Voll- und Textbildern. Nr. 39.

Zeichnen, Geometrisches, von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearb. v. Prof. J. Vonderlinn, diplom. und staatl. gepr. Ingenieur in Breslau. Mit 290 Fig. und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

Weitere Bände erscheinen in rascher Folge.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung in Leipzig.

In unserem Verlage erscheint ferner die

Sammlung Schubert

Sammlung mathematischer Lehrbücher,

die, auf wissenschaftlicher Grundlage beruhend, den Bedürfnissen des Praktikers Rechnung tragen und zugleich durch eine leichtfaßliche Darstellung des Stoffes auch für den Nichtfachmann verständlich sind. In systematisch sich aufbauenden, selbständigen Einzeldarstellungen bildet das Unternehmen einen einheitlich angelegten Lehrgang der gesamten Mathematik, von den ersten Anfangsgründen der Arithmetik und Algebra bis zur höheren Mathematik.

Ausführl ostfrei.

G. J. Gö -eipzig.

COUNTWAY LIBRARY OF MEDICINE
QC
795
F92

RARE BOOKS DEPARTMENT